

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATALIA PANZETER VIEIRA ROSA

**LEVANTAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA  
CONSTRUÇÃO DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM SÉRIE NA CIDADE DE  
CURITIBA**

CURITIBA

2018

NATALIA PANZETER VIEIRA ROSA

**LEVANTAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA  
CONSTRUÇÃO DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM SÉRIE NA CIDADE DE  
CURITIBA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. José de Almendra Freitas Junior

CURITIBA

2018

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

NATALIA PANZETER VIEIRA ROSA

### **LEVANTAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA CONSTRUÇÃO DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM SÉRIE NA CIDADE DE CURITIBA**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista no Curso de Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador:  
Prof. Dr. José de Almendra Freitas Junior  
DCC, Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 14 de abril de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família pelo apoio e incentivo dado em todas as horas em que estive envolvida com este trabalho.

À minha mãe Connie por nunca me deixar desanimar nos momentos de dificuldade.

Ao meu irmão Rafael por me auxiliar na busca de informações dos materiais de construção civil.

Agradeço especialmente ao meu pai Luis Paulo por toda a ajuda no levantamento de dados e informações da construção do condomínio e por todas as inúmeras dúvidas sanadas.

Agradeço ao meu orientador José Freitas Jr. pela sua orientação, auxílio na busca de referências e por estar sempre a disposição para dúvidas.

À coordenação do curso de projetos sustentáveis pela oportunidade de aprendizado.

## RESUMO

Importante setor da sociedade, a construção civil é responsável pela infraestrutura das cidades. Seus impactos, porém podem ser observados na enorme quantidade de recursos naturais utilizados e na geração de resíduos sólidos municipais na ordem de 60%. Uma das consequências da magnitude no uso de recursos é a grande emissão de gases de efeito estufa pela fabricação e transporte de materiais incorporados em edificações, em que o principal responsável é o dióxido de carbono. Com isso, o presente estudo teve como objetivo o levantamento de emissões de gases de efeito estufa na construção de um condomínio residencial com 17 unidades residenciais na cidade de Curitiba. Como resultado encontrou-se para uma unidade residencial um fator de 397,87 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> e um valor total para o condomínio de 1.002.757,22 kgCO<sub>2</sub>eq, sendo 71% das emissões originadas na realização de estruturas, alvenarias e revestimentos com argamassa, enquanto emissões por decomposição da madeira tiveram participação de 4% do total. Atuando na mitigação de emissões, os elementos de madeira armazenadores de carbono, como portas e forros, e materiais com alto índice de reciclagem, como aço e alumínio, contribuíram na redução de 3,7% dos gases de efeito estufa emitidos. Recomenda-se por fim, maior eficiência no uso de recursos e, maior uso de materiais de madeira de uso definitivo, para armazenamento de carbono, e produtos com baixa emissão incorporada pelo seu processo produtivo como forma de mitigação às emissões de gases de efeito estufa.

**Palavras-chave:** Construção civil, emissões de gases de efeito estufa, materiais de construção.

## ABSTRACT

Important sector of society, civil construction is responsible for the infrastructure of the cities. Your impacts however can be observed on the enormous amount of natural resources used and on the generation of municipal solid waste on the order of 60%. One of the consequences on the use of the resources magnitude is on the high greenhouse gases emission due to fabrication and transport of incorporated materials in buildings, where the main responsible is carbon dioxide. With that in mind, the present study had as a goal the greenhouse gases count in the construction of a residential condominium with 17 residencials unities in the city of Curitiba. As a result it was found for a residential unity a factor of 397,87 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> and a total value for the condominium of 1.002.757,22 kgCO<sub>2</sub>eq, being 71% of emissions originated on the making of structures, masonries e wall coverings, while emissions for wood decay had a share of 4% of the total. Acting on the mitigation of emissions, carbon storage wood elements, such as doors and ceilings, and materials with high rates of recycling, such as steel and aluminum, contributed on the reduction of 3,7% of the greenhouse gases emitted. It is recommended at the end, higher efficiency resource use and, higher use of wood products with permanent use, for carbon storage, and products with low incorporated emissions by its productive process as a way of mitigating greenhouse gases emissions.

**Key-words:** Civil construction, greenhouse gases emissions, construction materials.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Número de inventários registrados pelo <i>GHG Protocol</i> no setor da construção civil..... | 27 |
| Figura 2 - Quantidade de emissões de gases de efeito estufa divididos por escopo. ....                  | 27 |
| Figura 3 - Representação de emissões por gases de efeito estufa.....                                    | 28 |
| Figura 4 - Participação dos materiais nas emissões de GEE de um imóvel .....                            | 50 |
| Figura 5 - Contribuição dos materiais nas emissões de GEE na fase de construção.....                    | 55 |
| Figura A6 - Vista frontal do residencial.....   | 72 |
| Figura A7 - Vista aérea do residencial .....  | 73 |
| Figura A8 - Vista interna das residências .....   | 73 |
| Figura A9 - Vista da unidade 1 .....  | 74 |
| Figura A10 - Planta do térreo - unidade 1 .....   | 74 |
| Figura A11 - Planta do ático - unidade 1 .....  | 75 |
| Figura A12 - Planta do primeiro andar - unidade 1.....  | 76 |
| Figura A13 - Planta do térreo - unidade interna .....   | 76 |
| Figura A14 - Planta do primeiro andar - unidade interna.....  | 77 |
| Figura A15 - Planta do ático - unidade interna .....  | 77 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Potencial de aquecimento global dos principais gases do efeito estufa...   | 17 |
| Tabela 2 - Emissões de CO <sub>2</sub> de processos industriais relacionados à construção civil .....                                     | 20 |
| Tabela 3 - Emissões de CO <sub>2</sub> do uso de energia de fontes fósseis de processos industriais relacionados à construção civil. .... | 20 |
| Tabela 4 - Emissões de CO <sub>2</sub> eq para cimento .....  | 31 |
| Tabela 5 - Emissões para 1m <sup>3</sup> de concreto com cimento CP V-ARI .....   | 33 |
| Tabela 6 - Emissões para 1m <sup>3</sup> de concreto com cimento CP II-E-32.....  | 33 |
| Tabela 7 - Resumo de áreas por unidade residencial .....  | 43 |
| Tabela 8 - Emissões de GEE dos materiais utilizados em uma unidade residencial  | 49 |
| Tabela 9 - Resumo de emissões de GEE para um imóvel .....   | 50 |
| Tabela 10 - Emissões por unidade residencial.....   | 51 |
| Tabela 11 - Emissões de GEE dos materiais utilizados na área comum do condomínio.....   | 52 |
| Tabela 12 - Emissões de CO <sub>2</sub> por decomposição da madeira .....   | 53 |
| Tabela 13 - Emissões estimadas de energia adquirida da rede.....  | 53 |
| Tabela 14 - Emissões totais de GEE para o condomínio residencial .....  | 54 |
| Tabela 15 - Armazenamento de CO <sub>2</sub> nos elementos de madeira .....   | 56 |
| Tabela 16 - Benefícios da reciclagem do aço e do alumínio para um imóvel.....   | 57 |
| Tabela 17 - Emissões totais com recuperação de GEE .....  | 58 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                    |  |
|--------------------|--|
| ABCP               | - Associação Brasileira de Cimento Portland                          |
| ABNT               | - Associação Brasileiras de Normas Técnicas                          |
| ACV                | - Avaliação do Ciclo de Vida   |
| CH <sub>4</sub>    | - Metano   |
| CO <sub>2</sub>    | - Dióxido de Carbono   |
| CO <sub>2</sub> eq | - Dióxido de Carbono equivalente                                     |
| CBCS               | - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável                      |
| CEBDS              | - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável |
| CNT                | - Confederação Nacional dos Transportes                              |
| COP                | - Conference of Parties  |
| DAP                | - Declaração Ambiental de Produto                                    |
| EPD                | - Environmental Product Declaration                                  |
| FE                 | - Fator de Emissões  |
| GEE                | - Gases de efeito estufa   |
| GHG                | - GreenHouse Gas   |
| GVCes              | - Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas   |
| GWP                | - Global Warming Potencial   |
| IBGE               | - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                    |
| iNDC               | - intended Nationally Determined Contributions                       |
| INMETRO            | - Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial            |
| IPCC               | - Intergovernmental Panel on Climate Change                          |
| ISO                | - International Standardization Organization                         |
| LCA                | - Life Cycle Assessment  |
| MMA                | - Ministério do Meio Ambiente  |
| MME                | - Ministério de Minas e Energia                                      |
| N <sub>2</sub> O   | - Óxido Nitroso  |
| NDC                | - Nationally Determined Contributions                                |
| NOAA               | - National Oceanic and Atmospheric Administration                    |
| OMM                | - Organização Meteorológica Mundial                                  |
| PNMC               | - Política Nacional de Mudança do Clima                              |

|        |   |
|--------|---|
| PNUMA  | - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente       |
| Ppm    | - Partes por milhão                                     |
| SIN    | - Sistema Interligado Nacional                          |
| UNFCCC | - United Nations Framework Convention on Climate Change |
| WBCSD  | - World Business Council for Sustainable Development    |
| WRI    | - World Resources Institute                             |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1      | JUSTIFICATIVA.....  | 14        |
| 1.2      | OBJETIVOS .....   | 14        |
| 1.2.1    | Objetivo Geral.....   | 14        |
| 1.2.2    | Objetivos Específicos .....   | 15        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>   | <b>16</b> |
| 2.1      | MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....  | 16        |
| 2.1.1    | Acordos internacionais e legislações sobre mudanças climáticas.....   | 17        |
| 2.2      | O PAPEL DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....  | 19        |
| 2.3      | <i>ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION</i> - EPD .....  | 21        |
| 2.4      | INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....   | 22        |
| 2.4.1    | Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> - IPCC)..... | 22        |
| 2.4.2    | Protocolo de Gases de Efeito Estufa ( <i>GHG Protocol</i> ) .....   | 23        |
| 2.4.3    | ABNT NBR ISO 14064 .....  | 24        |
| 2.4.4    | Inventários de emissões de GEE na construção civil .....  | 25        |
| 2.5      | FATOR DE EMISSÃO .....  | 29        |
| 2.6      | MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA .....  | 29        |
| 2.6.1    | Aço .....   | 30        |
| 2.6.2    | Cimento portland .....  | 30        |
| 2.6.3    | Cal .....   | 31        |
| 2.6.4    | Areia .....   | 32        |
| 2.6.5    | Concreto .....  | 32        |
| 2.6.6    | Argamassa Colante .....   | 33        |
| 2.6.7    | Materiais cerâmicos.....  | 34        |
| 2.6.8    | Alumínio.....   | 35        |
| 2.6.9    | Vidro .....   | 35        |
| 2.6.10   | Gesso .....   | 36        |
| 2.6.11   | Telha de fibrocimento .....   | 36        |
| 2.6.12   | Calhas e rufos .....  | 37        |
| 2.6.13   | Rochas ornamentais.....   | 37        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.6.14   | Tintas.....   | 37        |
| 2.6.15   | Materiais da madeira .....  | 38        |
| 2.6.16   | Material hidrossanitário e instalações para gás .....   | 38        |
| 2.6.17   | Material elétrico .....   | 39        |
| 2.6.18   | Materiais diversos.....   | 40        |
| 2.6.19   | Energia elétrica.....   | 40        |
| 2.6.20   | Transporte .....  | 41        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>   | <b>42</b> |
| 3.1      | ETAPAS PARA LEVANTAMENTO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA .....                                      | 42        |
| 3.1.1    | Objetivo do levantamento de emissões de gases de efeito estufa .....                                      | 42        |
| 3.1.2    | Descrição do empreendimento.....  | 43        |
| 3.1.2.1  | Memorial descritivo do condomínio .....   | 44        |
| 3.1.3    | Escopo do estudo.....   | 44        |
| 3.1.4    | Levantamento de insumos e materiais utilizados no empreendimento e respectivos fatores de emissão .....   | 44        |
| 3.1.5    | Cálculo de emissões de gases de efeito estufa.....  | 46        |
| 3.1.5.1  | Cálculo de armazenamento de carbono e emissões de decomposição de gases de efeito estufa da madeira ..... | 47        |
| <b>4</b> | <b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>  | <b>49</b> |
| 4.1      | EMISSÕES DE GEE LEVANTADAS NA CONSTRUÇÃO DO CONDOMÍNIO .....  | 49        |
| 4.1.1    | Emissões geradas pelos materiais de construção levantados .....   | 49        |
| 4.1.2    | Emissões de decomposição da madeira .....   | 52        |
| 4.1.3    | Emissões da energia adquirida da rede .....   | 53        |
| 4.1.4    | Emissões totais do condomínio residencial .....   | 54        |
| 4.1.5    | Armazenamento e recuperação de gases de efeito estufa pelos materiais..                                   | 56        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>   | <b>59</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>62</b> |
|          | <b>ANEXO A – MEMORIAL DESCRITIVO DO EMPREENDIMENTO .....</b>  | <b>69</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A busca pelo equilíbrio do clima global vai além das discussões entre países em conferências da Organização das Nações Unidas, passa por todas as áreas da economia e sociedade. Para conseguir impactos positivos globais atua-se antes a nível local. Todos os setores econômicos têm sua contribuição na mudança climática, seja de maneira direta ou não, de forma mais ou menos intensa. O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) (2006) divide as fontes de emissão de gases de efeito estufa em quatro áreas, energia; processos industriais e uso de produtos; agricultura, florestas e outros usos do solo e; resíduos.

Dentro do setor de processos industriais se encontra a construção civil. Esta não faz parte diretamente deste setor, mas os insumos da construção têm origem nele. Seja aço, cimento, agregados ou itens de acabamento de imóveis. Alguns processos produtivos de materiais liberam grandes quantidades de dióxido de carbono, o gás de efeito estufa de maior presença na atmosfera e grande responsável pelo aquecimento do planeta. No caso do cimento as emissões têm origem na calcinação do calcário e no uso de combustíveis nos fornos, sendo que em 2010 a geração de dióxido de carbono no Brasil foi de 21.288 GgCO<sub>2</sub> pelo processo industrial e 14.259 GgCO<sub>2</sub> pelo uso de energia (BRASIL, 2016). Alguns materiais como a madeira, no seu processo de decomposição, liberam ainda o carbono que tinham armazenado em si.

O impacto da construção se vê também no grande uso de recursos naturais, que pode ser de 40% a 75%, descontando água e energia (CBCS, 2014). Quanto aos resíduos de construção e demolição gerados, estes representam uma participação de até 61% dos resíduos sólidos urbanos (PINTO; GONZÁLEZ, 2005). Não se pode negar, porém, a importância do setor na sociedade. A construção civil é indústria base para todos os outros setores, visto que é responsável pela infraestrutura destes.

Assim como seu papel é importante para a economia sua responsabilidade quanto aos impactos ambientais, incluindo a mudança do clima, também é alta. Visando abordar essa questão diversas iniciativas surgem com o objetivo de tornar as edificações mais sustentáveis. São sistemas de classificação de obras conforme o seu impacto ambiental como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental*

*Design*), normas de eficiência como a NBR 15.575/2013 sobre desempenho de edificações, selo Procel Edificações de 2014, planos de gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) e gestão de emissões de GEE, o tema abordado neste estudo.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Ao analisar os métodos de produção de insumos e materiais da construção civil percebe-se a grande geração de emissões de gases de efeito estufa (GEE) durante os processos de transformação da matéria-prima. Na fabricação do cimento, por exemplo, é emitido o equivalente a 5% das emissões globais segundo o World Business Council for Sustainable Development (2009). Ao nível nacional a indústria de cimento foi responsável por 29,7% das emissões de CO<sub>2</sub> de processos industriais em 2012 (BRASIL, 2014).

Outros materiais como o aço, cerâmicas, argamassa, gesso entre outros, também emitem grandes quantias de GEE, principalmente através da utilização de energia, da queima de combustível para geração de calor durante a produção e através do transporte até os consumidores.

Para tratar da questão das emissões ligadas à construção civil é interessante inventariá-las de modo a descobrir sua origem e possíveis meios para sua redução, reutilização de matérias-primas e substituição de materiais por outros com menor fator de emissão de gases de efeito estufa. Grandes construtoras já fazem seus inventários de GEE no Brasil, porém esta é uma prática ainda recente e que têm englobado apenas edifícios e grandes empreendimentos em geral.

Visando contribuir com a construção do conhecimento a cerca das emissões de GEE na construção civil, este trabalho propôs a realização do levantamento de emissões de um condomínio residencial em série.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Realizar o levantamento das emissões de gases de efeito estufa na construção de um condomínio residencial em série na cidade de Curitiba.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) caracterizar o empreendimento objeto do estudo;
- b) identificar os fatores de emissão (FE) mais adequados para os insumos e materiais utilizados;
- c) identificar os insumos e materiais mais representativos quanto às emissões de GEE;
- d) discutir sugestões para minimizar as emissões de construção do empreendimento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Tema extremamente atual, as mudanças do clima têm mobilizado governantes de diversos países em busca de soluções para estabilizar a temperatura do planeta. Estudos divulgados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) em 2014 apontam que até 2100 na melhor das hipóteses a temperatura deve subir 0,3°C podendo atingir até 4,8°C no pior cenário, enquanto o nível do mar pode sofrer uma elevação que varia entre 26 e 82 cm. Esse aumento médio na temperatura constitui uma ameaça ao equilíbrio ecológico da Terra gerando consequências adversas para o nosso modo de vida como, redução da disponibilidade de água, menor oferta de alimentos, maior incidência de eventos climáticos extremos e perda de ecossistemas e biodiversidade (IPCC, 2014).

Apontado como o principal responsável pelas mudanças do clima devido à sua abundância, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) vêm sendo emitido em níveis cada vez maiores desde a revolução industrial. A concentração histórica, medida a partir de amostras de gelo no ártico, da era pré-industrial atingia picos de 280 ppm (partes por milhão) de CO<sub>2</sub> e em 2013 ultrapassou a barreira de 400 ppm, sendo a média de 2016 de 402,9 ppm. A última vez que este nível foi atingido foi há 3 milhões de anos (*NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION* - NOAA, 2017). A maior presença de CO<sub>2</sub> na atmosfera potencializa o efeito estufa, fenômeno cujo resultado principal é a manutenção de temperatura média mundial evitando a completa dissipação de calor ao espaço. Um desequilíbrio nas concentrações de gases do efeito estufa pode acarretar no aumento da temperatura média mundial. Além do CO<sub>2</sub>, outros gases causadores do efeito estufa também possuem contribuição para com o aquecimento global como o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), gases esses com maior potencial de aquecimento global (*Global Warming Potencial* - GWP) do que o CO<sub>2</sub>. O GWP é, segundo o Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas - GVces (2010) um “fator que descreve o impacto do forçamento radiativo (grau de dano à atmosfera) de uma unidade de determinado GEE relativamente a uma unidade de CO<sub>2</sub>”, os valores para os principais gases se encontram na Tabela 1 abaixo.



Tabela 1 - Potencial de aquecimento global dos principais gases do efeito estufa

| <b>Fórmula Química</b> | <b>Denominação</b> | <b>GWP – AR2</b> |
|------------------------|--------------------|------------------|
| CO <sub>2</sub>        | Dióxido de Carbono | 1                |
| CH <sub>4</sub>        | Metano             | 21               |
| N <sub>2</sub> O       | Óxido Nitroso      | 310              |

Fonte: adaptado do IPCC (2005) pelo autor (2018).

### 2.1.1 Acordos internacionais e legislações sobre mudanças climáticas

Para debater as mudanças do clima e meios para enfrentar suas consequências, diversas conferências internacionais têm sido realizadas. Em 1992 durante a Rio 92 criou-se a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) com a ratificação de 197 países, sendo estes conhecidos como partes da convenção. Esta convenção tem como objetivo principal “a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático” (CONVENÇÃO DO CLIMA, 1995). Um marco no combate ao aquecimento global foi o Protocolo de Quioto, acordo adotado em 1997 durante a terceira Conferência das Partes (COP3). O documento continha uma meta de redução de gases de efeito estufa de 5% na média em relação aos níveis de 1990 aos países desenvolvidos signatários (Partes do Anexo I). O Protocolo entrou em vigor em 2005, dando início ao primeiro período de compromisso (2008-2012) após alcançar a ratificação mínima de 55 de países membros da convenção e que fossem responsáveis por 55% das emissões mundiais de 1990 (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997). Visando auxiliar os países em desenvolvimento (Partes Não Anexo I) a atingirem suas metas de redução, o Protocolo de Quioto criou um mecanismo de flexibilização chamado de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Através desse mecanismo pode-se comercializar reduções certificadas de carbono (RCE) resultantes de atividades de projetos enquanto os países desenvolvidos (Partes do Anexo I) podem utilizar esses créditos para contribuir com o cumprimento de parte do seu compromisso de redução de emissões (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

Visando oficializar seu compromisso voluntário com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o governo brasileiro instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Lei 12.187/2009, na qual as ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa visam reduzir entre 36,1% e 38,9% de suas emissões projetadas até 2020.

O Decreto 7.390/2010, que regulamenta a PNMC, traz em números concretos o que representa a meta de redução de GEEs. O valor a ser reduzido é entre 1.168 milhões de tCO<sub>2</sub>eq e 1.259 milhões de tCO<sub>2</sub>eq, sendo que o total projetado para 2020 é de 3.236 milhões tCO<sub>2</sub>eq. Esta projeção de emissões está dividida entre setores de modo que, Mudança de Uso da Terra corresponde a 1.404 milhões de tCO<sub>2</sub>eq, sendo o maior responsável pelas emissões brasileiras.

Para o acompanhamento do cumprimento das metas estabelecidas, o Decreto 7.390/2010 definiu que deverá ser publicada anualmente uma estimativa anual de emissões de GEEs no Brasil, sendo que esta deverá ser de fácil entendimento por toda a sociedade.

Em substituição ao Protocolo de Quioto, que tem seu fim previsto para 2020 com o término do segundo período de compromisso (2013-2020) com metas de redução de 18% abaixo dos níveis de 1990, um novo acordo foi redigido durante a COP 21 em 2015, sendo então conhecido como Acordo de Paris.

O Acordo de Paris visa reunir as nações em uma causa comum de modo a combater as mudanças climáticas e a se adaptar aos seus efeitos. A meta do compromisso firmado é de manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e concentrar um esforço para limitar o aumento de temperatura em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2015).

A ratificação mínima é de pelo menos 55 países responsáveis por 55% das emissões de GEE. Em outubro de 2016 a meta foi alcançada e em novembro de 2016 o acordo passou a vigorar (UNFCCC, 2016a).

Segundo a UNFCCC (2015), o acordo requer que os governos concentrem seus esforços na definição de metas de redução de emissões com a elaboração das suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (*Nationally Determined Contributions* - NDCs) e que fortaleçam esses esforços futuramente. Isso requer que todas as partes reportem suas emissões e o andamento das suas contribuições regularmente.

Antes de concluir suas NDCs, os países constroem as suas Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (*intended Nationally Determined Contributions* - iNDC) com sua contribuição de redução de emissões de GEE de acordo com sua avaliação do que é viável segundo a realidade local. O Brasil

entregou suas iNDCs em setembro de 2016 tornando suas metas não mais pretendidas, mas sim oficiais (UNFCCC, 2016b).

A NDC apresentada pelo Brasil (2016) assume o compromisso de redução de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, para 2025, visando uma contribuição subsequente de redução em 43% abaixo dos níveis de 2005, para o ano de 2030. Para alcançar o objetivo o país visa até 2030 aumentar a participação de biocombustíveis em aproximadamente 18%, alcançar uma participação de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética, aumentar em 10% a eficiência no setor elétrico, zerar o desmatamento ilegal, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas e fortalecer o plano de agricultura de baixo carbono.

## 2.2 O PAPEL DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Visto como setor chave para o desenvolvimento, a construção civil tem como argumento a seu favor o seu tamanho, o impacto direto na economia e a sua importância indireta no desenvolvimento econômico, uma vez que produz infraestrutura para diversas outras atividades econômicas (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

Para o meio ambiente o impacto da construção civil é outro. Já é sabido que o setor é um grande consumidor de recursos naturais sendo que a enorme extração de matérias-primas implica na maioria das vezes na destruição de biomas importantes. O processo de fabricação de insumos também tem seus impactos, principalmente na queima de combustíveis fósseis e no possível uso de madeira ilegal para os processos térmicos. Durante a construção ou após a vida útil da edificação ocorre a geração de resíduos em grande quantidade (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - CBCS, 2009).

De acordo com o CBCS (2009), de 40% a 75% dos recursos naturais, descontando água e energia, extraídos no planeta são para uso na construção civil. Para Pinto e González (2005) os resíduos de construção e demolição podem alcançar 61% dos resíduos sólidos urbanos.

O impacto da construção também é evidente quanto às emissões de GEE. Os principais insumos do setor, cimento, aço, cal, alumínio, entre outras, são grandes emissores de GEE durante a sua extração e fabricação. No caso do

cimento Portland e da cal há ainda grande liberação de CO<sub>2</sub> pela calcinação do calcário na produção de clínquer. Para a siderurgia as emissões vêm da redução do minério de ferro no alto-forno com a utilização de coque de carvão mineral e no caso do alumínio as emissões de CO<sub>2</sub> estão ligadas à queima de eletrodos de origem fóssil (BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2014).

Na Tabela 2 abaixo observa-se a quantidade de emissões geradas pelos processos industriais relacionados aos principais insumos da construção civil. Percebe-se que há um aumento de emissões ao longo dos anos para todas as indústrias apresentadas.

Tabela 2 - Emissões de CO<sub>2</sub> de processos industriais relacionados à construção civil

| Processos industriais                           | Emissões de CO <sub>2</sub> |        |        |        |        |
|---|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
|   | 1990                        | 1995   | 2000   | 2005   | 2010   |
| Produção do Cimento                             | 11.062                      | 11.528 | 16.047 | 14.349 | 21.288 |
| Produção da cal                                 | 3.688                       | 4.104  | 5.008  | 5.356  | 5.950  |
| Uso de calcário e dolomita na produção de vidro | 67                          | 64     | 89     | 116    | 114    |
| Ferro-gusa e aço                                | 21.601                      | 30.130 | 35.552 | 37.509 | 38.360 |
| Alumínio  | 1.574                       | 1.965  | 2.116  | 2.472  | 2.543  |

Fonte: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

Além das emissões dos processos industriais ocorre a liberação de GEE através do uso de energia na fabricação de insumos da construção civil. Combustíveis como carvão, gás e petróleo são utilizados para a transformação da matéria-prima. Abaixo temos um resumo das emissões energéticas do setor industrial (Tabela 3).

Tabela 3 - Emissões de CO<sub>2</sub> do uso de energia de fontes fósseis de processos industriais relacionados à construção civil.

| Processos industriais | Emissões de CO <sub>2</sub> |       |        |       |        |
|-----------------------|-----------------------------|-------|--------|-------|--------|
|                       | 1990                        | 1995  | 2000   | 2005  | 2010   |
| Cimento               | 5.790                       | 6.073 | 10.512 | 8.951 | 14.259 |
| Ferro-gusa e aço      | 4.373                       | 5.387 | 4.620  | 5.297 | 5.540  |
| Cerâmica              | 1.692                       | 2.691 | 3.382  | 3.805 | 4.888  |

Fonte: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

### 2.3 ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - EPD

“Crescentes demandas sobre bens e serviços que geram impactos ambientais ocorrem de modo que se percebem suas consequências, mas nem sempre suas causas” (TAVARES, 2006). Visando alcançar maior controle e redução de impactos ambientais surgem diversas ferramentas de auxílio, como a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Como princípio a ACV busca, segundo Soares e Pereira (2004), “analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado”. Todas as etapas do processo produtivo devem ser analisadas, incluindo a extração de matérias-primas, fabricação, uso e disposição final. É o que a norma NBR ISO 14040 (2001) chama de “berço ao túmulo”.

Após completar a avaliação de ciclo de vida de um produto ou serviço os dados encontrados podem ser compilados na forma de um *Environmental Product Declaration* – EPD (Declaração Ambiental do Produto - DAP), que está fundamentado na norma NBR ISO 14025:2015. O EPD é documento que resume o perfil ambiental de um produto e fornece informações sobre seus aspectos ambientais de forma padronizada e objetiva, de modo que a comparação de produtos de mesma categoria possa ser possível (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, 2016). A norma pede que sejam apresentados dados sobre os recursos utilizados, como energia e água, e também pede informações sobre impactos ambientais potenciais, como emissões de GEE, de gases acidificantes e de substâncias que contribuem com a depleção de oxigênio na água (INMETRO, 2016). Apesar de haver uma norma para elaboração de EPDs no Brasil Freitas (2017) argumenta que, muitos fabricantes produzem documentos chamados de DAP, porém estes não seguem o padrão sugerido pela NBR ISO 14025. Internacionalmente encontra-se a norma sobre declaração ambiental de produtos chamada EN 15804:2014, *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*.

## 2.4 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

De modo a definir planos, metas e estratégias de redução de emissões em busca do controle do aquecimento global é necessário conhecer a quantidade de gases emitidos nas mais diversas atividades antrópicas. O meio utilizado para quantificar emissões de gases de efeito estufa é através da elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa. O Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas - GVces (2010) visualiza nos inventários oportunidades às organizações para novos negócios no mercado de carbono, atração de novos investimentos e meios para aumentar a eficiência econômica, energética ou operacional. A realização de inventários de emissões também põe em evidência a responsabilidade da empresa para com os problemas ambientais e garante mais transparência às suas ações (GVces, 2010).

### 2.4.1 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*)

Criado em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para a Organização Meteorológica Mundial (OMM) o objetivo do IPCC é o de estudar fenômenos ligados às mudanças climáticas. Os resultados de suas pesquisas são divulgados nos Relatórios de Avaliação (ARs) e assistem à Conferência das Partes (COP) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (BRASIL. Ministério do Meio ambiente, 2011). Visando auxiliar aos países na realização de inventários de emissões o IPCC desenvolveu metodologias de inventários nacionais de emissões de gases do efeito estufa. A publicação “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” é o guia mais atual do IPCC para desenvolvimento de inventários e se divide em cinco partes: orientação geral e relatórios; energia; processos industriais e uso de produtos; agricultura, florestamento e outros usos da terra; e resíduos (IPCC, 2006). Este documento fornece diversas metodologias para o cálculo de emissões nas mais diversas atividades.

#### 2.4.2 Protocolo de Gases de Efeito Estufa (*GHG Protocol*)

Uma das metodologias mais comuns e utilizadas para se elaborar um inventário de emissões é pela ferramenta do *Greenhouse Gas Protocol*, desenvolvido pelo *World Resources Institute (WRI)* em associação com o *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*. No Brasil o programa do *GHG Protocol* foi implementado pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas e *World Resources Institute (WRI)* em parceria com o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA), o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e o *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* e segundo o GVces (2010), o programa brasileiro “busca promover a cultura corporativa de mensuração, publicação e gestão voluntária das emissões de GEE no Brasil”. Além disso, os participantes têm acesso a instrumentos e padrões de qualidade internacional para contabilização e elaboração de inventários de GEE.

O *GHG Protocol* Brasil vem desde 2008 registrando inventários corporativos sendo estes disponibilizados no Registro Público de Emissões, página da internet que funciona como um banco de dados de inventários acessíveis ao público.

Para nortear a elaboração de inventários de emissões de GEE o *GHG Protocol* publicou o “*GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*” de 2004 no qual podem-se encontrar as diretrizes necessárias para contabilizar emissões. Uma das orientações quanto a limites de um inventário, segundo o GVces (2010), diz respeito aos limites operacionais que são divididos em três escopos descritos a seguir:

Escopo 1: Emissões diretas de GEE - Provenientes de fontes pertencentes ou controladas pela organização como as emissões de combustão em caldeiras, fornos, veículos da empresa, da produção de químicos e de outros processos.

Escopo 2: Emissões indiretas de GEE de energia – Diz respeito às emissões de GEE provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica consumida pela empresa.

Escopo 3: Outras emissões indiretas de GEE – Emissões de fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa como a extração e produção de matérias-primas realizadas por outra empresa, mas utilizados nos processos da empresa que está elaborando o inventário. Também contam o transporte de

colaboradores em meios não controlados pela empresa, as emissões relativas ao uso final de bens de consumo vendidos pela empresa inventariada, entre outras.

#### 2.4.3 ABNT NBR ISO 14064

A Organização Internacional para a Normatização (ISO), visando contribuir na questão de mudanças do clima, lançou em 2006 as normas da família ISO 14064, a qual fornece a governos e indústrias um conjunto de ferramentas para programas de redução de emissões de gases de efeito estufa e comércio de emissões (ISO, 2006). Espera-se com a implementação da norma alcançar os seguintes benefícios: promover consistência, transparência e credibilidade na quantificação, monitoramento, reportagem e verificação de GEE; permitir que as organizações identifiquem e gerenciem riscos de responsabilidade relacionada aos GEE; facilitar o comércio de créditos e abonos de GEE e; apoiar o desenvolvimento e implementação de programas e esquemas de GEE consistentes e comparáveis (ISO, 2006).

A série ISO 14064 foi publicada no Brasil em 2007 através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), membro fundador da ISO, e se divide em três partes:

ABNT NBR ISO 14064 – Parte 1 – Especificação e orientação a organizações para a quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa;

ABNT NBR ISO 14064 – Parte 2 – Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa;

ABNT NBR ISO 14064 – Parte 3 – Especificação e orientação para validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa.

Segundo Feitosa (2008), as principais características e princípios direcionadores da ISO 14064 são a interação com os relatórios do IPCC; norma neutra (aplicável a todos os tipos de programas ou regimes); rigor técnico; ampla participação de países e; compatibilidade e consistência com protocolos de GEE do WBCSD e WRI e com mecanismos de flexibilização de Quioto.



#### 2.4.4 Inventários de emissões de GEE na construção civil

Devido à importância do setor da construção na contribuição com as mudanças climáticas, construtoras começaram a realizar seus próprios inventários de emissões de GEE visando melhorar o seu desempenho nessa área.

Uma das primeiras a contabilizar suas emissões foi a construtora EVEN que começou o processo de inventariar emissões em 2009 englobando inicialmente apenas alguns empreendimentos. Em 2010 lançou, já com um sistema de cálculos padronizado, seu primeiro inventário completo. A partir de então a construtora lança anualmente seu relatório de emissões de GEE sendo o mais atual a publicação para o ano-base de 2015, que demonstrou que a participação de 97,9% das emissões são oriundas do Escopo 3 que representa emissões indiretas, e o índice de emissões ficou em 151,07 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> (EVEN, 2016). Como iniciativa para reduzir a sua pegada de carbono a empresa compensou em 2016 100% de suas emissões ao adquirir créditos de carbono em projetos de conservação florestal (EVEN, 2017).

Buscando orientar a execução de inventários de emissões de GEE pelas empresas do setor, o Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo (SINDUSCON-SP) elaborou um guia metodológico para servir de referência para todas as empresas da construção civil. A partir da experiência de diversas empresas, que tomaram iniciativas para contabilizar emissões, surgiu a necessidade de se estabelecer uma uniformização de conceitos e critérios para o setor. Outra necessidade foi a melhor aplicabilidade das normas gerais às particularidades da construção civil no Brasil, levando em consideração as práticas do mercado imobiliário, processos de desenvolvimento dos empreendimentos, os processos de gestão normalmente utilizadas nas obras, assim como as técnicas e práticas aplicadas na sua execução (SINDUSCON, 2013).

Como referência na elaboração do guia metodológico para inventários de GEE na construção civil, além das orientações do IPCC, o Sinduscon-SP (2013) utilizou as normas “*GHG Protocol - Corporate Accounting and Reporting Standards (Corporate Standard)*”; “*GHG Protocol - Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*”; e a “ABNT NBR ISO 14.064-1:20077 - Gases de efeito estufa: Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa”.

A construção civil nota-se presente no programa brasileiro do *GHG Protocol* através da inserção de inventários realizados por grandes construtoras. Ao total 9 empresas da construção civil apresentaram seus inventários sendo o primeiro inventário de 2010. No total há 37 inventários no Registro Público de Emissões (2017c) conforme se observa na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Número de inventários registrados pelo *GHG Protocol* no setor da construção civil.



Fonte: Registro Público de Emissões, 2017b.

Quanto à representatividade por escopo do *GHG Protocol* percebe-se uma grande disparidade do escopo 3 para os escopos 1 e 2 nos inventários registrados (Figura 2).

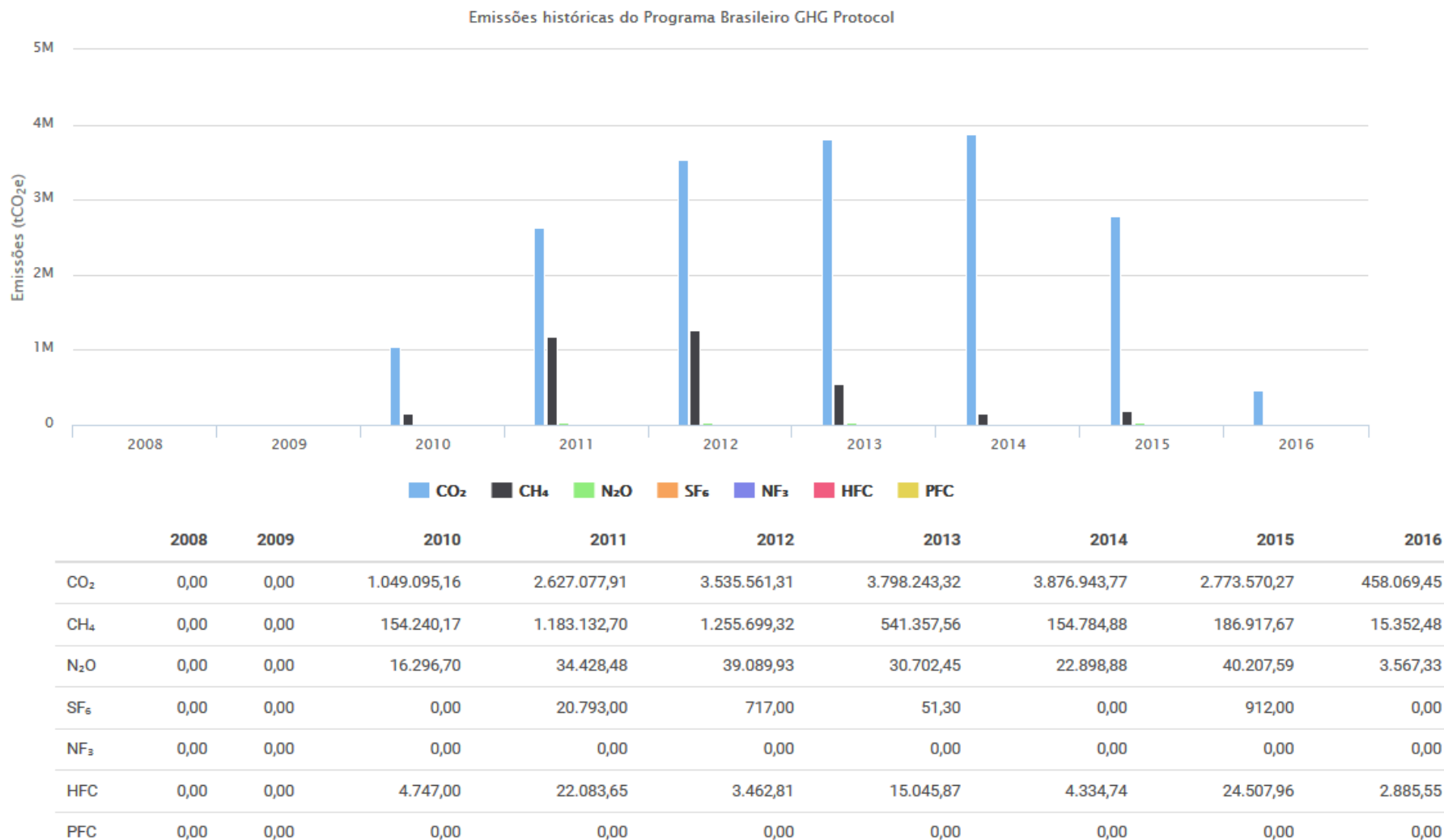
Figura 2 - Quantidade de emissões de gases de efeito estufa divididos por escopo.

|          | 2008       | 2009         | 2010           | 2011         | 2012         | 2013         | 2014         | 2015         | 2016       |
|----------|------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| Escopo 1 | 0,00       | 0,00         | 327.656,71     | 360.844,33   | 706.523,99   | 1.041.742,78 | 802.983,51   | 746.782,95   | 45.124,15  |
| Escopo 2 | 0,00       | 0,00         | 5.035,06       | 2.648,12     | 14.028,24    | 22.225,18    | 67.595,95    | 71.547,53    | 5.723,26   |
| Escopo 3 | 871.138,00 | 2.759.162,00 | 367.328.470,00 | 3.524.023,29 | 4.113.978,14 | 3.321.432,54 | 3.191.490,62 | 2.287.365,35 | 429.027,40 |

Fonte: Registro Público de Emissões, 2017b.

Na contabilização do *GHG* Protocol por gases de efeito estufa o mais emitido pela construção civil é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) seguido pelo metano ( $\text{CH}_4$ ) (Figura 3).

Figura 3 - Representação de emissões por gases de efeito estufa.



Fonte: Registro Público de Emissões, 2017a.

## 2.5 FATOR DE EMISSÃO

Segundo o *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Guia do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa) de 2006, o método mais comum para estimar emissões é combinar informações em toda a extensão em que uma atividade humana se desenvolve, chamada de dados de atividades pelo IPCC, com coeficientes que quantificam as emissões ou remoções de GEE por unidade de atividade, os chamados fatores de emissão (FE). Assim a equação, desenvolvida pelo IPCC, que representa o cálculo de emissões é a seguinte:

$$Emissões = DA \times FE$$

Em que:

DA = Dados de atividades

FE = Fatores de emissão

Para a *United States Environmental Protection Agency* – USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) (2016) o fator de emissão é “um valor representativo que procura relacionar a quantidade de um poluente lançado na atmosfera com a atividade associada com o lançamento daquele poluente”. É expresso geralmente por peso do poluente dividido por uma unidade de peso, volume, distância ou duração da atividade emissora do poluente.

Os fatores de emissão ainda podem ser divididos em níveis devido ao seu grau de complexidade metodológica. O IPCC (2006) chama a esses níveis de *tiers*, e os divide em três. O *tier 1* é o método mais básico e utiliza dados *default*, o *tier 2* é intermediário e utiliza dados do país ou regionais, e o *tier 3* o mais complexo e que demanda dados específicos da atividade. Os *tiers 2* e *3* são geralmente considerados mais precisos.

## 2.6 MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Conforme já mencionado, o impacto da construção civil no meio ambiente é de grande amplitude. Muito devido à grande retirada de recursos naturais e os seus

meios de extração e produção para uso em construções. A seguir apresentam-se os materiais utilizados no setor e os seus impactos de emissões por unidade de produto.

#### 2.6.1 Aço

A utilização do aço na construção civil se destina ao levantamento de estruturas, nas quais o formato de aço em barras é o principal, sendo usado em maiores ou menores quantidades de acordo com o tipo de projeto. A obtenção do aço, segundo Stachera Jr. (2008) é feita através de processos siderúrgicos em que carbono é acrescentado ao minério de ferro em quantidades de acordo com a resistência desejada. Nas reações de decomposição química dos minérios de ferro, como magnetita e hematita, ocorre a liberação de monóxido e dióxido de carbono através da queima de combustíveis como coque ou carvão de madeira.

Em 2011 a World Steel Association (WSA) publicou uma análise de ciclo de vida para a indústria do aço para quantificar uso de energia, recursos e emissões associadas à manufatura de produtos de aço. As emissões de GEE relatadas para barras de aço foi de 1,6 kgCO<sub>2</sub>eq/kg. Também é demonstrada a contribuição que a reciclagem tem no ciclo de vida do aço. A WSA (2011) reforça que o aço reciclado mantém as mesmas propriedades do aço primário e pode ser reciclado diversas vezes. No estudo de ciclo de vida apresentado verificou-se que o aço reciclado emite 1,2 kgCO<sub>2</sub>eq/kg, demonstrando um benefício da reciclagem de -0,4 kgCO<sub>2</sub>eq/kg em relação ao processo de produção primário. As vantagens do aço reciclado também foram representadas no menor consumo de energia durante a produção.

#### 2.6.2 Cimento portland

O cimento portland é um dos insumos mais importantes na construção civil, sendo utilizado na fabricação do concreto e argamassas em combinação com outros insumos, como areia, cal e brita em dosagens diversas de acordo com a aplicação final desejada.

A sua composição é basicamente clínquer e adições. Segundo a Associação Brasileiro do Cimento Portland - ABCP (2002), o clínquer é obtido através do calcário e argila que, misturados em proporções adequadas passam por um forno

com temperaturas de até 1450°C e assim o calor intenso transforma a mistura inicial em clínquer.

É no processo de fabricação do clínquer que as emissões de gases de efeito estufa ocorrem devido à calcinação do calcário e da queima de combustíveis nos fornos. A faixa de emissões identificada por Lima (2010) vai de 821 a 1113 kgCO<sub>2</sub>eq/t clínquer.

As diferentes adições ao clínquer minimizam, de acordo com Freitas Jr., Parchen e Parchen (2010), a proporção de clínquer nos diversos tipos de cimento resultando numa menor quantidade de CO<sub>2</sub> emitido por unidade de peso de cimento. As adições podem ser de cinzas volantes e escórias de alto forno e também material pozzolânico e carbonático.

As emissões de GEE do cimento variam de acordo com a adição e a proporção recebida desta. Na Tabela 4 abaixo observam-se os valores de CO<sub>2</sub>eq por kg de cimento de acordo com o seu tipo.

| Tabela 4 - Emissões de CO <sub>2</sub> eq para cimento |  |        |
|--|--|--------|
| Tipo de cimento  | Fator de Emissão (kgCO <sub>2</sub> eq/kg) |        |
|  | Limites                                    | Médias |
| CP II-F  | 716,4 – 804,4                              | 760    |
| CP II-Z  | 599,8 – 804,4                              | 702    |
| CP II-E  | 433,2 – 804,4                              | 618    |
| CP III   | 174,9 – 545,2                              | 360    |
| CP IV  | 344,3 – 723,9                              | 534    |
| CP V   | 758,0 – 858,0                              | 808    |

Fonte: Freitas Jr. (2017) adaptado de CBCS (2014).

### 2.6.3 Cal

A cal é um produto com aplicações em diversas áreas, sendo na construção civil de amplo uso na formulação de argamassas.

As emissões de GEE desse setor têm origem na transformação da rocha calcária em cal virgem em um processo denominado descarbonatação que ocorre através da queima de combustíveis em um forno (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB, 2011). A cal virgem segundo Silva (2009) é composta predominantemente por óxidos de cálcio e magnésio resultantes de

calcinação de calcários a 900-1200°C e ao ser combinada com água torna-se a cal hidratada.

Os valores de GEE emitidos na fabricação da cal foram estimados por Costa (2012) em um levantamento de emissões para materiais da construção civil. Os valores encontrados na produção da cal virgem são 1,184 tCO<sub>2</sub>eq/t de cal, já a cal hidratada emite 0,911tCO<sub>2</sub>eq/t, sendo que a maior parte das emissões é oriunda das reações químicas durante a calcinação.

#### 2.6.4 Areia

Considerado um agregado miúdo, a areia representa um tipo de “bem mineral granular com tamanho em intervalo definido entre 2 e 0,006 mm de composição silicática com uma maior quantidade de quartzo” segundo o Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2014). Compreende materiais naturais e areia artificial. Nas construções é insumo importante na fabricação de concretos e argamassas.

As emissões da extração da areia foram identificadas no segundo inventário de gases de efeito estufa do setor mineral publicado pelo Instituto Brasileiro de Mineração em 2014. Englobando as emissões de extração e uso de energia o valor é de 0,001991 kgCO<sub>2</sub>eq/t de areia. O mesmo valor pode ser aplicado também ao saibro devido ao seu processo de extração ser o mesmo.

#### 2.6.5 Concreto

De uso amplamente disseminado, o concreto é segundo a ABNT NBR 12655:2015, um “material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários, que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento”.

Do ponto de vista da mudança climática o componente mais emissor do concreto é o cimento, sendo a redução do seu consumo a melhor possibilidade para redução de emissões do concreto segundo Lima (2010). Os agregados, como areia e brita, liberam emissões apenas do transporte e extração.

As emissões são influenciadas conforme variáveis como o tipo de cimento utilizado, a resistência do concreto e o local de produção, se batida no canteiro de obra ou em central dosadora. Nas Tabela 5 e Tabela 6 a seguir estão valores de emissões para concretos apresentados por Costa (2012).



Tabela 5 - Emissões para 1m<sup>3</sup> de concreto com cimento CP V-ARI

| Identificação   | FE (tCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> concreto) |                               |
|-----------------|--|-------------------------------|
|                 | Produzido no canteiro de obra                    | Produzido em central dosadora |
| Concreto 15MPa  | 0,301  | 0,321                         |
| Concreto 20MPa  | 0,328  | 0,347                         |
| Concreto 25 MPa | 0,353  | 0,373                         |
| Concreto 30 MPa | 0,373  | 0,393                         |
| Concreto 35 MPa | 0,395  | 0,415                         |
| Concreto 40 MPa | 0,417  | 0,437                         |
| Concreto 45 MPa | 0,438  | 0,459                         |
| Concreto 50 MPa | 0,464  | 0,485                         |

Fonte: Costa (2012)

Tabela 6 - Emissões para 1m<sup>3</sup> de concreto com cimento CP II-E-32

| Identificação   | FE (tCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> concreto) |                               |
|-----------------|--|-------------------------------|
|                 | Produzido no canteiro de obra                    | Produzido em central dosadora |
| Concreto 15MPa  | 0,310  | 0,329                         |
| Concreto 20MPa  | 0,338  | 0,358                         |
| Concreto 25 MPa | 0,346  | 0,366                         |
| Concreto 30 MPa | 0,363  | 0,383                         |
| Concreto 35 MPa | 0,381  | 0,401                         |
| Concreto 40 MPa | 0,395  | 0,415                         |
| Concreto 45 MPa | 0,409  | 0,429                         |
| Concreto 50 MPa | 0,424  | 0,445                         |

Fonte: Costa (2012).

Além do uso em estruturas há também o uso de concreto para fabricação de artefatos como blocos de concreto e pisos intertravados (paver). As emissões destes são de 1,56 kgCO<sub>2</sub>eq/unidade para blocos de concreto (ALBANO; KIRST; DIZ, 2011) e de 24 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> para pisos intertravados (CBCS, 2014).

#### 2.6.6 Argamassa Colante

Utilizada no assentamento de revestimentos cerâmicos a argamassa colante é definida pela NBR 14081:2004 como um produto composto “de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturado com água, forma

uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento”.

A argamassa colante é dividida em 4 tipos diferentes de acordo com suas características e com aplicações diferentes, sendo AC-I indicada para ambientes internos, AC-II para ambientes internos e externos, AC-III com alta aderência e, AC tipo E argamassa dos tipos I, II e III com tempo em aberto estendido.

As emissões tem origem na produção e extração dos seus componentes, em especial o cimento. Para Freitas (200-, apud ALBANO; KIRST; DIZ, 2011) as emissões da argamassa do tipo AC-II é de 175 kgCO<sub>2</sub>eq/t.

#### 2.6.7 Materiais cerâmicos

Durante o processo de fabricação de produtos cerâmicos não há uma liberação de CO<sub>2</sub> devido à transformação da argila nos fornos. As emissões desta categoria são decorrentes da queima de combustíveis para extração de argila e outros minerais e para alimentação dos fornos nos processos de queima e secagem dos materiais.

Os elementos de vedação cerâmicos emitem na sua fabricação 21 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> em indústrias com forno contínuo e, 42 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> em indústrias com forno convencional, ambas utilizando serragem como combustível, segundo pesquisa de Soares e Pereira (2004) em empresas do setor no Estado de Santa Catarina. Uma média destes valores fica em 32 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, válido para tijolos e lajotas cerâmicas usuais em lajes pré-moldadas.

Coelho (2009a) em estudo encomendado pelo Ministério de Minas e Energia com o propósito traçar o perfil das cerâmicas de revestimento no Brasil, obteve-se para revestimentos cerâmicos, como pisos de porcelanato e azulejos, emissões médias de 2,9 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, sendo que o combustível principal responsável pelas emissões é o gás natural.

No perfil de louças sanitárias apresentado em relatório técnico também redigido por Coelho (2009b), as emissões encontradas são de 618 kgCO<sub>2</sub>eq/t de louça, oriundas da utilização do gás natural no processo produtivo.

### 2.6.8 Alumínio

O alumínio se faz presente na construção civil em diversas formas. Alguns exemplos seriam esquadrias de alumínio, painéis de revestimento, fachadas envidraçadas, estruturas de alumínio para coberturas, estruturas de alumínio para fechamentos laterais entre outros.

Advindo da extração de minérios, o alumínio não é encontrado na natureza em estado puro, mas sim associado a outros elementos. O principal deles é a bauxita, a partir da qual o alumínio é produzido. A bauxita é então transformada em alumina (óxido de alumínio) através de uma técnica denominada Bayer que utiliza óleo combustível no processo. A seguir a alumina se torna alumínio com a utilização de eletrólise que libera  $\text{CO}_2$  na combinação de oxigênio com o ânodo de carbono e utiliza correntes elétricas de alta intensidade resultando num alto consumo de energia elétrica (MONZONI *et al.*, 2012).

Além da produção a partir de minérios também pode-se obter alumínio através da reciclagem. O Internacional Aluminium Institute - IAI (2009) informa que o alumínio pode ser reciclado diversas vezes sem perder as suas propriedades e consome apenas 5% da energia necessária para a produção de alumínio primário.

Em 2014 a The Aluminum Association publicou um EPD para o alumínio extrudado fabricado na América do Norte. Durante a avaliação do ciclo de vida deste produto concluiu-se que 1 kg de alumínio extrudado emite 6,57  $\text{kgCO}_2\text{eq}$ . Considerando a reciclagem no processo gerou-se um crédito de -4,13  $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$  de alumínio, de modo que as emissões com reciclagem incluída são da ordem de 2,44  $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$  de alumínio.

### 2.6.9 Vidro

A utilização de vidros em edificações se dá principalmente através de janelas e portas de vidro plano, produzidos principalmente através do processo *float*. Esse material é composto por areia ( $\text{SiO}_2$ , 70%), barrilha (15%), calcário (10%), dolomita (2%), feldspato (2%) e aditivos (sulfato de sódio, ferro, cobalto, cromo, selênio etc.) (BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2017) e sua produção começa na extração destes minérios, que são em seguida enviados a um forno de fusão onde o processo ocorre lentamente a uma temperatura de 1600°C. A massa de vidro fundido flutua

sobre uma piscina de estanho a 650°C formando a lâmina de vidro que é então recozida num forno que resfria a chapa de forma controlada (WESTPHAL, 2016).

O vidro ainda tem o grande potencial de reciclagem, tendo o Brasil alcançado um índice de 47% de embalagens de vidro recicladas (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE, 2011). Freitas Jr., Parchen e Parchen (2010), porém afirmam que os vidros planos não são possíveis de serem reciclados.

No processo de fabricação do vidro há uso de gás natural nos fornos, sendo esta a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa do setor. As emissões decorrentes da produção do vidro giram em torno de 490 kgCO<sub>2</sub>eq/t vidro (ALMEIDA, 2007 apud FREITAS JR., PARCHEN E PARCHEN 2010).

#### 2.6.10 Gesso

Produto muito utilizado na construção civil em revestimentos e peças pré-moldadas, o gesso é, de acordo com Costa (2012), originário da calcinação controlada do mineral gipsita em fornos à lenha principalmente.

A gipsita é um mineral abundante no Brasil e dispõe de importantes reservas, destacando-se pelo volume e qualidade, os depósitos encontrados nos estados do Pará, Bahia e Pernambuco (BEZERRA, 2009).

A gipsita calcinada a uma temperatura de 160°C se desidrata parcialmente tornando-se um hemidrato conhecido como gesso. Para a extração e processamento de gesso as emissões associadas são de 0,3424 tCO<sub>2</sub>eq/t gesso (COSTA, 2012).

#### 2.6.11 Telha de fibrocimento

Utilizadas na cobertura de imóveis as telhas de fibrocimento têm em sua composição principalmente o cimento, mais a adição de fibras. Devido aos riscos potenciais à saúde, a utilização de fibras de amianto tem sido reduzida e substituída por fibras sintéticas. A empresa Mahaphant (2014) apresentou Um EPD o uso de fibras de celulose e de acetato de polivinil na composição de suas telhas. As emissões encontradas ficaram na ordem de 870 kgCO<sub>2</sub>eq/t de telhas de fibrocimento.

### 2.6.12 Calhas e rufos

Incorporadas na cobertura de edificações estão as calhas e rufos com função de drenagem da água pluvial. Esses produtos são feitos de chapas de aço galvanizado que incluem uma camada de zinco na superfície para proteção contra corrosão. A empresa sueca Europrofil (2015) publicou um EPD com as informações de impacto ambiental resultantes do ciclo de vida dos seus produtos. Verificou-se que para 1 tonelada de perfis de aço galvanizado de 0,50 mm de espessura as emissões são de 2661 kgCO<sub>2</sub>eq.

### 2.6.13 Rochas ornamentais

As Rochas Ornamentais, segundo o IBRAM (2014) são também conhecidas como pedras naturais, rochas dimensionais e rochas lapídeas. São materiais geológicos naturais e sua extração pode ser na forma de blocos e placas e cortadas nas mais variadas formas. São basicamente representadas por granitos e mármore sendo os primeiros genericamente considerados rochas silicáticas e as demais rochas carbonáticas (IBRAM, 2014).

Para encontrar as emissões emitidas pela produção de rochas ornamentais, o Instituto Brasileiro de Mineração (2014) demonstrou em inventário setorial que são necessários 0,005 litros de diesel/kg de rocha. Sabendo-se que o diesel emite 2,6 kgCO<sub>2</sub>eq/litro, a partir de 3,12 kgCO<sub>2</sub>eq/t e densidade de 0,85 kg/l (CETESB, 2009), o valor encontrado para rochas ornamentais é de 0,013kgCO<sub>2</sub>eq/kg de rocha.

### 2.6.14 Tintas

Parte da fase de acabamento da construção, as tintas tem composição variada. Resinas, pigmentos, cargas minerais, solventes e aditivos são os insumos usados na fabricação (CETESB, 2006). Na construção civil utilizam-se tintas à base de solvente orgânico ou de base aquosa sendo que, segundo a CETESB (2006) as tintas à base de água representam 80% da utilização no setor. Estas são denominadas genericamente de produtos látex e baseados em dispersões aquosas poliméricas (emulsões) como vinílicas, vinil acrílicas, acrílicas, etc.

A fabricante de tintas Polisan (2015a) realizou uma avaliação de ciclo de vida para seus produtos e encontrou para tintas de ambientes internos um valor de 1,90

kgCO<sub>2</sub>/kg. Para as tintas de ambientes externos o EPD publicado indica um valor de 2,17 kgCO<sub>2</sub>eq/kg (POLISAN, 2015b).

#### 2.6.15 Materiais da madeira

O uso de madeira na construção civil é bem amplo. Esta é matéria-prima de portas, esquadrias, pisos, forros e painéis na construção civil. Esses itens são de uso permanente e são incorporados na edificação. Há ainda materiais de uso temporário que são as formas de madeira, utilizadas no levantamento de estruturas de concreto.

A madeira pode ter origem de reflorestamento ou natural, sendo as emissões diferentes, pois as florestas plantadas envolvem fases de preparo da terra, plantio e manutenção da área, enquanto que as florestas naturais não. As áreas reflorestadas podem ainda possuir certificação para comprovar sua origem sustentável (FREITAS JR., 2017).

O processo de transformação da árvore em produto engloba operações na floresta e na serraria. Na floresta as fases são de derrubada das árvores, transformação em toras e transporte em caminhão até a serraria. Na serraria ocorre então a triagem, o armazenamento das toras, o descascamento, o corte das toras em peças de madeira, o transporte para as instalações de secagem, o processo de secagem dos produtos, a manutenção de todos os equipamentos e os processos de tratamento de resíduos (PE INTERNATIONAL, 2012).

Ruuska (2013) compilou em seu estudo valores de emissões de diversos produtos do setor da construção civil. Para a extração e processamento de madeira serrada encontrou-se em um ACV finlandês um valor de 0,108 kgCO<sub>2</sub>eq/kg. Já para portas as emissões são de 18,45 kgCO<sub>2</sub>eq/porta.

#### 2.6.16 Material hidrossanitário e instalações para gás

Grande parte dos itens necessários às instalações de água e esgoto são formados por tubos e conexões de PVC em diferentes dimensões de acordo com o uso pretendido. Os artigos em PVC (policloreto de vinila) contêm em seu peso 57% de cloro, obtido a partir de sal marinho, e 43% de eteno, derivado do petróleo. Sua versatilidade se deve ao fato de que para adquirir as características finais desejadas

são acrescentados aditivos podendo resultar em produtos rígidos ou flexíveis atendendo à diversas aplicações. Seu uso na construção civil, principalmente para tubos, conexões, fios e cabos, é de tamanha relevância que em 2005 62% do PVC produzido no Brasil era destinado a esse setor (RODOLFO, 2006). A empresa Braskem computou a sua pegada de carbono em 2013 e encontrou um valor de 1,77 tCO<sub>2</sub>eq/t de PVC sendo a maior parte das emissões oriundas da obtenção das matérias-primas e produção do monômero MVC (monômero cloreto de vinila).

Instalações de gás têm como objetivo fornecer aquecimento de água em residências. A tubulação feita a partir do cobre tem amplo uso em sistemas à gás. As emissões de gases de efeito estufa para tubos de cobre são apresentadas no estudo de Ruuska (2013), o qual incluiu as fases de extração e produção. Para 1kg de tubo de cobre são emitidas 980,8 gCO<sub>2</sub>eq.

#### 2.6.17 Material elétrico

Os materiais elétricos têm composições bem diversificadas. Os produtos vão desde cabos de cobre até eletrodutos de PVC ou aço galvanizado. Os componentes apresentados são descritos de acordo com o seu uso, matéria-prima e emissões de GEE.

Eletrodutos servem para conduzir a passagem de fios e cabos e possuem diferenças na sua composição. Dutos e conexões galvanizados a fogo possuem grande durabilidade devido à proteção contra corrosão através de uma camada de zinco em sua superfície. As emissões provenientes do seu ciclo de vida foram avaliadas pela American Galvanizers Association em 2015, e verificou-se que 1 kg de aço galvanizado por imersão a quente libera 1,801 kgCO<sub>2</sub>eq.

Como já mencionado as emissões provenientes da fabricação do PVC são de 1,77 tCO<sub>2</sub>eq/t PVC segundo Braskem (2013). Nas instalações elétricas os produtos de PVC mais utilizados são os eletrodutos condutores de fiação elétrica. Há ainda produtos feitos de PEAD (polietileno de alta densidade) presentes em pevedutos, também utilizados para passagem de fios e cabos. Para estes as emissões são de 1,42 tCO<sub>2</sub>eq/t de PEAD (BRASKEM, 2013).

Passando por dentro dos eletrodutos há os cabos e fios de cobre, os quais se apresentam em diversas bitolas de acordo com a corrente elétrica a ser percorrida. De acordo com Ruuska (2013), os gases de efeito estufa emitidos por 1 t de fio de

cobre é de 788,3 kgCO<sub>2</sub>eq. Para cabos de alumínio encontra-se um valor de 6,57 kgCO<sub>2</sub>eq/t apresentado pela The Aluminum Association (2014).

Outro material elétrico importante é o disjuntor. Sua função é a de garantir proteção em instalações elétricas contra sobrecargas e curtos-circuitos. A empresa Schneider Electric (2015) publicou um estudo de ciclo de vida no formato de um PEP (Product Environmental Profile) para disjuntores de 2A até 63A. A composição da peça possui aço presente em 37,7%, o cobre 6,4% e a poliamida 37,7%. O valor de emissões para cada disjuntor é da ordem de 24,846 kgCO<sub>2</sub>eq/disjuntor.

Na ponta final da instalação elétrica de uma residência estão as tomadas que dão acesso à rede elétrica para o consumidor. O escopo do PEP para tomadas publicado pela Schneider Electric (2013) incluiu também outros itens combinados às tomadas com diversas funções como placas e interruptores. O resultado para emissões resultou em 0,147 kgCO<sub>2</sub>eq/tomada, sendo a composição dos itens feita de poliamida, policarbonato e polietileno e aço e latão.

#### 2.6.18 Materiais diversos

Alguns elementos da fase de acabamento de uma construção fazem parte dos detalhes e não possuem grande participação no uso total de materiais na obra, porém não deixam de possuir impactos ambientais em sua cadeia de produção.

Produtos como trincos e fechaduras, compostos por latão, aço, alumínio e outras ligas, tiveram seu ciclo de vida avaliado e apresentado em um EPD pela Arge (2016), no qual as emissões para um 1 kg de trincos é de 7,85 kgCO<sub>2</sub>eq englobando desde a fase de extração de matéria-prima até o processo final de montagem.

Avaliando o impacto de misturadores para banheiro, cozinha e chuveiro, torneiras e válvulas, Eczacibasi Building Products (2013) demonstrou em um EPD que o impacto de emissões é de 9,2 kgCO<sub>2</sub>eq para 1 kg de misturadores. A composição de tais itens engloba principalmente cobre, zinco, chumbo e alumínio.

#### 2.6.19 Energia elétrica

Produzida a partir da transformação de outros tipos de energia, como energia hidráulica, térmica, eólica e solar a energia elétrica é essencial para o desenvolvimento de qualquer atividade econômica. O consumo de energia elétrica da rede é considerado uma emissão indireta de gases de efeito estufa. A



composição da matriz energética de um país é que indicará se as emissões por kWh serão altas ou não. Ao utilizar as energias renováveis, as emissões de gases de efeito estufa são reduzidas, do contrário, utilizando combustíveis fósseis na geração elétrica, as emissões são superiores.

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação publica regularmente os fatores de emissão de GEE do Sistema Interligado Nacional (SIN) para cada mês e ano. Em 2016 as emissões de energia elétrica foram em média de 0,0817 tCO<sub>2</sub>eq/MWh. Para 2017 o valor é de 0,0931 tCO<sub>2</sub>eq/MWh, média para os meses de janeiro a novembro, pois o valor de dezembro ainda não havia sido divulgado.

#### 2.6.20 Transporte

O transporte de insumos no Brasil se dá em grande parte através de rodovias. A Confederação Nacional do Transporte - CNT (2017) indica que o modal rodoviário tem a maior participação no transporte de cargas do país alcançando 61%. As emissões deste setor se devem à queima de combustíveis fósseis nos veículos tendo alcançado 22,8% de participação nas emissões nacionais em 2010. Dentre as emissões de energia o subsetor de transportes representa 50,6% sendo 45,5% das emissões vindas do modal rodoviário, o que corresponde a 90% das emissões de transporte (BRASIL, 2016b).

Na construção civil o transporte de materiais é constante e as emissões destes podem variar bastante conforme a distância percorrida sendo o óleo diesel predominante como combustível. Albano, Kirst e Diz (2011), em um estudo sobre emissões de dióxido de carbono na construção civil, demonstraram que as emissões do transporte de materiais correspondem a 6,32% do total em uma construção.

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho procurou investigar um problema para uma situação específica sendo, portanto um estudo de caso. Gil (2008) explica que o estudo de caso pode ser utilizado em pesquisas exploratórias, descritivas e explicativas e define ainda estudo de caso como sendo “caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado”. Para Yin (2001) um estudo de caso é “uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”.

O estudo em questão é um levantamento de emissões de gases de efeito estufa que se aproxima bastante de inventários de emissões de obra, dentro do limite operacional do Escopo 3, conforme recomendado pelo guia do Sinduscon-SP para inventários de emissões na construção civil. Sua abrangência é apenas para a fase de construção do condomínio residencial.

#### 3.1 ETAPAS PARA LEVANTAMENTO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O estudo de caso do levantamento de emissões de gases de efeito estufa durante a construção de um condomínio residencial em série foi realizado conforme as etapas de: definição do objetivo do estudo, cálculo de emissões de efeito estufa, descrição do empreendimento, escopo do estudo, levantamento de insumos e materiais do empreendimento e fatores de emissão, sendo estas com descrição apresentada a seguir.

##### 3.1.1 Objetivo do levantamento de emissões de gases de efeito estufa

O objetivo deste levantamento é o de contabilizar emissões da fase de construção em um condomínio residencial em série de 17 unidades de modo que, seja possível identificar as fontes de emissão mais representativas neste tipo de construção e os meios para reduzir estas.

### 3.1.2 Descrição do empreendimento

O estudo em questão tem como objeto o condomínio residencial Skalla da construtora Tecnobuild Construções Civas Ltda. Este se localiza no bairro Guabirota na cidade de Curitiba e se caracteriza como uma construção em alvenaria na forma de condomínio em série com área total do terreno de 2.131,15 m<sup>2</sup> e área destinada ao uso de 2072,09 m<sup>2</sup> divididas em 17 unidades autônomas residenciais, edificadas em dois blocos transversais ao alinhamento com rua interna privativa para acesso, sendo nove casas geminadas em bloco na lateral direita para quem adentra ao condomínio pela sua rua interna e oito casas geminadas em bloco situado na lateral esquerda. O residencial ainda terá área descoberta para recreação e guarita frontal.

Sobre as unidades residenciais, estas possuem térreo, segundo pavimento com sacada eático com terraço. A Tabela 7 a seguir resume as áreas dos imóveis.

Tabela 7 - Resumo de áreas por unidade residencial

|                          | <b>Área a construir</b> |
|--------------------------|-------------------------|
| Unidade residencial nº1  | 140,02                  |
| Unidade residencial nº2  | 119,19                  |
| Unidade residencial nº3  | 119,19                  |
| Unidade residencial nº4  | 119,19                  |
| Unidade residencial nº5  | 119,19                  |
| Unidade residencial nº6  | 119,19                  |
| Unidade residencial nº7  | 119,19                  |
| Unidade residencial nº8  | 119,19                  |
| Unidade residencial nº9  | 120,91                  |
| Unidade residencial nº10 | 119,19                  |
| Unidade residencial nº11 | 119,19                  |
| Unidade residencial nº12 | 119,19                  |
| Unidade residencial nº13 | 119,19                  |
| Unidade residencial nº14 | 119,19                  |
| Unidade residencial nº15 | 119,19                  |
| Unidade residencial nº16 | 119,19                  |
| Unidade residencial nº17 | 142,50                  |

Fonte: O autor (2018).

### 3.1.2.1 Memorial descritivo do condomínio

O memorial descritivo do condomínio consta no anexo A.

### 3.1.3 Escopo do estudo

O estudo levou em consideração apenas a construção do empreendimento da construtora como um todo, desde o início da obra até o seu fim, previsto pela construtora para dezembro de 2018, não considerando um ano-base. Foram consideradas as emissões provenientes da aquisição de materiais e serviços de construção, sendo estas consideradas emissões indiretas controladas por outras organizações. Emissões de aquisição de energia elétrica da rede, também consideradas indiretas, foram igualmente computadas. Emissões diretas, emitidas pela construtora, como emissões da geração de esgoto e transporte de funcionários, não foram consideradas. Os cálculos foram feitos com base nos insumos utilizados para a execução das áreas comuns do condomínio e do imóvel de 119,19 m<sup>2</sup>, sendo este último replicado para as outras unidades visto que o projeto destas é idêntico, ajustando apenas a área dos imóveis maiores. O levantamento de insumos das áreas de uso comum do condomínio incluiu a execução do muro de arrimo, muro externo, pavimentação interna e externa, guarita, ligação de água e esgoto e entrada de energia.

Não foram incluídas emissões provenientes de atividades administrativas, paisagismo do condomínio e das escavações e movimentações do solo do terreno.

### 3.1.4 Levantamento de insumos e materiais utilizados no empreendimento e respectivos fatores de emissão

Para quantificar os insumos e materiais utilizados buscou-se dados através de pedidos e notas fiscais de compras de suprimentos, orçamento da obra e conversas com o engenheiro responsável e o mestre de obra, sendo todos os dados levantados diretamente com a construtora. Também, realizou-se pesquisa através de catálogos de produtos e endereços eletrônicos de fornecedores e revendedores de materiais de construção civil.

O levantamento levou em conta as diversas fases da obra desde a execução das fundações até a cobertura dos imóveis sendo os materiais de construção em comum das diversas fases posteriormente agrupados entre si.

Para os fatores de emissão de materiais utilizados na construção civil buscou-se de preferência dados locais com realidades mais próximas ao estudo, sendo semelhante à ideia dos *tiers* 2 e 3 utilizados pelo IPCC. Não sendo possível encontrar tais informações ou sendo estas inexistentes utilizou-se dados mais abrangentes ou internacionais compatíveis com cada material utilizado na construção.

A pesquisa incluiu dados de teses e dissertações sobre o tema, avaliação de ciclo de vida de materiais, declaração ambiental de produtos (EPD) e relatórios e inventários de emissões de gases de efeito estufa setoriais de órgãos públicos, associações e institutos nacionais e internacionais.

Alguns elementos construtivos foram decompostos em diferentes insumos para que se encaixassem em fatores de emissão adequados. Foi o caso das argamassas, que tiveram seus componentes, areia, cal e cimento, contabilizados separadamente de acordo com os traços utilizados para diferentes usos na obra. Outro material construtivo decomposto foi a laje pré-moldada, separada em lajetas, concreto e treliça de aço.

Para encontrar o consumo de energia a partir da ligação na rede até a entrega dos imóveis, ou seja, do início ao fim da fase de construção da obra, buscou-se a quantidade de energia da rede já consumida e, a partir de uma média desta foi feita uma estimativa da energia a ser consumida até o término da construção, previsto para dezembro de 2018.

Buscou-se um maior grau de detalhamento para englobar todos os materiais possíveis no levantamento dos fatores de emissão, porém para alguns tipos de materiais, como elétricos e hidráulicos, devido à grande quantidade de peças diferentes e matérias-primas diversas, estes tiveram alguns componentes desconsiderados por falta informações mais específicas e por terem pouca representatividade na obra como um todo.

### 3.1.5 Cálculo de emissões de gases de efeito estufa

Para encontrar as emissões finais geradas pelo empreendimento estudado foi necessário inicialmente, fazer um levantamento quantitativo dos insumos e materiais utilizados na construção do condomínio residencial. O passo seguinte envolveu a pesquisa de fatores de emissão específicos para cada insumo ou material empregado. Ao combinar esses dois tipos de informação a equação para cálculo, baseada na fórmula do IPCC, das emissões de gases de efeito estufa do estudo apresentado se dá na seguinte maneira:

$$Emissões\ CO_2eq = Qm \times FEm$$

Em que:

Qm = Quantidade do material ou insumo utilizado na construção

FEm = Fator de emissão do material ou insumo utilizado na construção

Essa equação pode ser modificada, dependendo das circunstâncias em que ela é aplicada, para incluir outros parâmetros de estimação além de um fator de emissão único. Foi o caso do cálculo de emissões das rochas ornamentais (granito e mármore) em que o fator de emissão não era diretamente relacionado com insumo em questão, mas sim com o combustível utilizado para o sua extração e processamento, no caso o diesel. A equação de cálculo das emissões de gases de efeito estufa de rochas ornamentais ficou desse modo:

$$Emissões\ CO_2eq = Qrocha \times FC \times FE_{diesel}$$

Em que:

Qrocha = Quantidade de rochas ornamentais utilizadas na construção em kg

FC = fator de conversão em litros de diesel/kg de rocha

FE<sub>diesel</sub> = fator de emissão do diesel em kgCO<sub>2</sub>eq/litro

O valor final de emissões de gases de efeito estufa foi computado ao somar-se as emissões geradas por cada material ou insumo entre si resultando nas emissões de uma unidade residencial de 119,19 m<sup>2</sup>. Para as unidades maiores

acrescenta-se ao resultado a porcentagem equivalente à área a mais existente. Ao somar-se as emissões de cada uma das 17 unidades e a quantidade de emissões das áreas comuns do condomínio encontra-se as emissões de gases de efeito estufa totais da construção. A equação abaixo expressa essa somatória final.

$$Emissões\ CO_2eq\ final = \left( \sum_{i=1}^{17} E_{imóvel_i} \right) + E_{condomínio}$$

Em que:

$E_{imóvel}$  = Emissões provenientes de um imóvel

$E_{condomínio}$  = Emissões provenientes das áreas comuns do condomínio

É importante ressaltar que as unidades utilizadas para representar as informações dos materiais e fatores de emissão devem ser compatíveis entre si e se necessário convertidas.

#### 3.1.5.1 Cálculo de armazenamento de carbono e emissões de decomposição de gases de efeito estufa da madeira

Ao quantificar emissões de gases de efeito estufa provenientes do uso de insumos e materiais feitos de madeira deve-se levar em consideração, além das emissões geradas na extração e transformação da matéria-prima, o seu potencial de armazenamento de carbono, se a madeira for de uso definitivo, ou as emissões a serem geradas no processo de decomposição da madeira, se esta for de uso provisório.

Para o estudo apresentado a madeira de uso provisório é representada pelas formas de *Pinus* utilizadas nos processos de concretagem, enquanto a madeira de uso definitivo é representada pelas vigas e caibros de madeira Cambará utilizados no forro e pelas portas feitas de *Pinus* dos imóveis.

O cálculo para emissões de decomposição da madeira ou para armazenamento de carbono em madeira é o mesmo e se difere apenas no uso dado ao material, definitivo ou provisório.

Toda espécie florestal possui certa quantidade de carbono fixada em sua massa através do processo natural da fotossíntese. Para as espécies utilizadas no

estudo o valor é de aproximadamente 40%. O teor de carbono encontrado para madeira de *pinus* é de 0,41 (OLIVEIRA et al., 2011). Para um conjunto de porta utilizou-se uma média dos componentes no valor de 0,44 (FREITAS JR., 2017). Já para a madeira cambará o teor de carbono encontrado é de 0,442 (FREITAS JR., 2017). Se a madeira for para uso definitivo a proporção de carbono contida nela será considerada armazenada, já se a madeira for de uso provisório essa proporção de carbono será liberada para a atmosfera devido ao processo de decomposição.

Deve ser levado em consideração também a quantidade de CO<sub>2</sub> que este carbono presente na madeira representará ao ser oxidado uma vez que, a molécula de dióxido de carbono é composta de uma molécula de carbono (com massa molar igual a 12) e duas moléculas de oxigênio (com massa molar igual a 16). Desse modo o valor de 44/12 ou 3,667 deve ser multiplicado na equação. Utilizou-se para os cálculos o valor de densidade básica para a madeira de pinus de 400 kg/m<sup>3</sup> (MOURA E SANTIAGO, 1991) e de 540 kg/m<sup>3</sup> para a madeira cambará (ZENID, 2009).

Isto posto, a equação de decomposição da madeira e de armazenamento de carbono na madeira é:

$$CO_2\text{madeira} = Mm \times Tc \times 3,667$$

Em que:

Mm = massa da madeira utilizada

Tc = teor de carbono presente na espécie florestal utilizada

Ao encontrar o resultado para o dióxido de carbono armazenado ou emitido pela madeira e subtraí-lo ou somá-lo, respectivamente, das emissões de extração e processamento encontra-se o balanço final de emissões da madeira, sendo que muitas vezes a madeira de uso definitivo apresenta resultados negativos.



## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 EMISSÕES DE GEE LEVANTADAS NA CONSTRUÇÃO DO CONDOMÍNIO

#### 4.1.1 Emissões geradas pelos materiais de construção levantados

As emissões geradas pelos materiais aplicados em um imóvel e seus fatores de emissão por unidade de medida utilizados ( $\text{kgCO}_2\text{eq/unidade}$ ) estão apresentadas na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Emissões de GEE dos materiais utilizados em uma unidade residencial

| Material                            | Unidade        | Quantidade | $\text{kgCO}_2\text{eq/}$<br>unidade (FE) | Emissões<br>( $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ) |
|-------------------------------------|----------------|------------|---|--|
| Aço                                 | kg             | 2.224,32   | 1,6                                       | 3.558,91                                 |
| Bloco Cerâmico                      | m <sup>2</sup> | 283,08     | 32  | 9.058,56                                 |
| Cimento Portland CP II Z            | t              | 8,12       | 702                                       | 5.702,83                                 |
| Concreto Usinado                    | m <sup>3</sup> | 36,95      | 373                                       | 13.780,86                                |
| Areia                               | t              | 63,00      | 0,001991                                  | 0,13                                     |
| Cal hidratada (argamassa)           | kg             | 4.987,19   | 0,911                                     | 4.543,33                                 |
| Argamassa colante votoran           | kg             | 1.100,00   | 0,175                                     | 192,50                                   |
| Revestimentos Cerâmicos             | m <sup>2</sup> | 240,00     | 2,9                                       | 696,00                                   |
| Estacas pré-moldadas                | m <sup>3</sup> | 3,20       | 437                                       | 1.398,40                                 |
| Rochas Ornamentais                  | kg             | 1.377,00   | 0,013                                     | 17,90                                    |
| Gesso                               | kg             | 1.330,00   | 0,3424                                    | 455,39                                   |
| Esquadrias de alumínio              | kg             | 132,00     | 6,57                                      | 867,24                                   |
| Lajota H7                           | m <sup>2</sup> | 63,18      | 32  | 2.021,76                                 |
| Massa Mineral                       | kg             | 300,00     | 1,184                                     | 355,20                                   |
| Vidros                              | kg             | 640,00     | 0,49                                      | 313,60                                   |
| Instalações Sanitárias              | kg             | 39,97      | 1,77                                      | 70,75                                    |
| Instalações Hidráulicas             | kg             | 64,85      | 1,77                                      | 114,78                                   |
| Forma de madeira (pinus) - extração | kg             | 2.778,00   | 0,108                                     | 300,02                                   |
| Vigas e Caibros - Cambará           | kg             | 152,55     | 0,108                                     | 16,48                                    |
| Metais banheiro total               | kg             | 5,13       | 9,2                                       | 47,20                                    |
| Louças total                        | kg             | 100,00     | 0,618                                     | 61,80                                    |
| Telha de Fibrocimento s/ Amianto    | kg             | 266,80     | 0,87                                      | 232,12                                   |
| Calhas e rufos                      | kg             | 170,60     | 2,661                                     | 453,97                                   |
| Tintas externo                      | kg             | 750,00     | 2,1716                                    | 1.628,70                                 |
| Tintas interno                      | kg             | 340,80     | 1,9                                       | 647,52                                   |
| Portas                              | conjunto       | 8,00       | 18,45                                     | 147,60                                   |
| Instalação de gás (cobre)           | kg             | 5,11       | 0,9808                                    | 5,01                                     |
| Trinco e fechadura                  | kg             | 7,00       | 7,85                                      | 54,95                                    |
| Eletrodutos PEAD                    | kg             | 26,12      | 1,42                                      | 37,09                                    |
| Caixas de luz PVC                   | kg             | 2,52       | 1,77                                      | 4,46                                     |
| Tomadas e acessórios                | unidade        | 151,00     | 0,147                                     | 22,20                                    |
| Disjuntores                         | unidade        | 23,00      | 24,846                                    | 571,46                                   |
| Cabos flexíveis                     | kg             | 55,00      | 0,7883                                    | 43,36                                    |
|                                     |                |            | <b>Total</b>                              | <b>47.422,07</b>                         |

Fonte: O autor (2018).

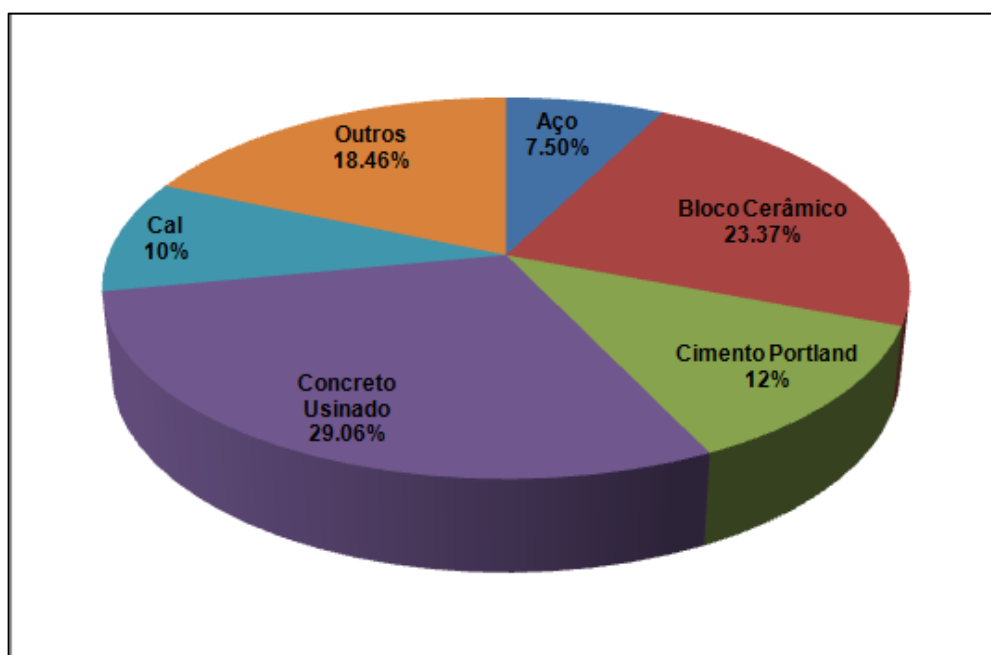
Ao agrupar os materiais em categorias pode-se ter uma melhor compreensão sobre quais foram os maiores emissores de GEE na construção de um imóvel. Os materiais de construção utilizados que obtiveram menos de 5% de participação foram agrupados em “outros”. Esses dados podem ser visualizados na Tabela 9, a partir da qual gerou-se o gráfico apresentado na Figura 4.

Tabela 9 - Resumo de emissões de GEE para um imóvel

| <b>Material</b>  | <b>Emissões<br/>(kgCO<sub>2</sub>eq)</b> | <b>%</b>       |
|------------------|--|----------------|
| Concreto Usinado | 13.780,86                                | 29,06%         |
| Bloco Cerâmico   | 11.080,32                                | 23,37%         |
| Outros           | 8.755,81                                 | 18,46%         |
| Cimento Portland | 5.702,83                                 | 12,03%         |
| Cal hidratada    | 4.543,33                                 | 9,58%          |
| Aço              | 3.558,91                                 | 7,50%          |
| <b>Total</b>     | <b>47.422,07</b>                         | <b>100,00%</b> |

Fonte: O autor (2018).

Figura 4 - Participação dos materiais nas emissões de GEE de um imóvel



Fonte: O autor (2018).

Nota-se a grande participação dos materiais utilizados na edificação da parte estrutural do imóvel, sendo o concreto usinado o maior emissor com 30% e blocos cerâmicos com 23%. A cal e o cimento portland, componentes das argamassas, emitiram 22%, e o aço contribuiu com 7,5%. Todos os outros itens emitiram juntos

18%, incluindo instalações elétricas e sanitárias, pintura, revestimentos cerâmicos, colocação de vidros e esquadrias e outros itens de acabamento.

O valor de emissões de gases de efeito estufa levantado para o imóvel base, de acordo com os materiais aplicados neste, foi de 47.422,07 kgCO<sub>2</sub>eq. Visto que tais emissões foram levantadas com base no imóvel de 119,19m<sup>2</sup>, o tamanho mais comum no condomínio, para estimar as emissões das unidades maiores acrescentou-se a porcentagem de área a mais em relação ao imóvel base no valor das emissões. A quantidade de emissões de cada unidade residencial se encontra na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 - Emissões por unidade residencial

|                          | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | Área a<br>mais % | Emissões<br>(kgCO <sub>2</sub> eq) |
|--------------------------|---------------------------|------------------|------------------------------------|
| Unidade residencial nº1  | 140,02                    | 17,48            | 55.709,69                          |
| Unidade residencial nº2  | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº3  | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº4  | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº5  | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº6  | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº7  | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº8  | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº9  | 120,91                    | 1,44             | 48.106,40                          |
| Unidade residencial nº10 | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº11 | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº12 | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº13 | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº14 | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº15 | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº16 | 119,19                    | 0,00             | 47.422,07                          |
| Unidade residencial nº17 | 142,5                     | 19,56            | 56.696,40                          |
| <b>Total</b>             | <b>2072,1</b>             |                  | <b>824.421,41</b>                  |

Fonte: O autor (2018).

Ao todo as emissões para as 17 unidades residenciais somaram 824.421,41 kgCO<sub>2</sub>eq. A maior unidade apresentou 56.696,4 kgCO<sub>2</sub>eq, sendo 19,56% maior que a unidade base. Para as emissões de gases de efeito estufa por metro quadrado o valor encontrado foi de 397,87 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>.

A área comum do condomínio residencial também teve suas emissões de materiais computadas. Estas podem ser visualizadas na Tabela 11 juntamente com os fatores de emissão dos materiais levantados (kgCO<sub>2</sub>eq/unidade).

Tabela 11 - Emissões de GEE dos materiais utilizados na área comum do condomínio

| Insumo                             | Quantidade | Unidade        | kgCO <sub>2</sub> eq/<br>unidade (FE) | Emissões<br>(kgCO <sub>2</sub> eq) |
|------------------------------------|------------|----------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Areia                              | 44,48      | T              | 0,001991                              | 0,09                               |
| Concreto 15mpa CP-II               | 105,56     | m <sup>3</sup> | 310                                   | 32.723,60                          |
| Cimento CP-II Z                    | 6,10       | T              | 702                                   | 4.283,50                           |
| Cal                                | 2.311,69   | Kg             | 0,911                                 | 2.105,95                           |
| Bloco de Concreto 0,14x0,19x0,39   | 11.751,35  | unidade        | 1,56                                  | 18.332,11                          |
| Paver 20x10x5                      | 452,00     | m <sup>2</sup> | 24                                    | 10.848,00                          |
| Vidro                              | 57,60      | Kg             | 0,49                                  | 28,22                              |
| AC-II                              | 1.000,00   | Kg             | 0,175                                 | 175,00                             |
| Aço                                | 2.715,00   | Kg             | 1,6                                   | 4.344,00                           |
| Bloco Cerâmico                     | 25,70      | m <sup>2</sup> | 32                                    | 822,53                             |
| Forma de madeira (pinus)           | 6.270,50   | Kg             | 0,108                                 | 677,21                             |
| Saibro                             | 81,00      | T              | 0,001991                              | 0,16                               |
| Granito                            | 63,72      | Kg             | 0,013                                 | 0,83                               |
| Instalações hidrossanitárias - PVC | 348,96     | Kg             | 1,77                                  | 617,66                             |
| Dutos galvanizados – elétrica      | 77,68      | Kg             | 1,801                                 | 139,90                             |
| Instalação elétrica – PVC          | 27,29      | kg             | 1,77                                  | 48,29                              |
| Cabo de alumínio                   | 91,96      | kg             | 6,57                                  | 604,18                             |
| Peveduto PEAD Corrugado 4"         | 15,00      | kg             | 1,42                                  | 21,30                              |
| Disjuntores                        | 20,00      | unidade        | 24,846                                | 496,92                             |
| Cabos - cobre                      | 83,48      | kg             | 0,7883                                | 65,80                              |
|                                    |            |                | <b>Total</b>                          | <b>76.335,25</b>                   |

Fonte: O autor (2018).

A quantidade de GEE emitida pelos materiais utilizados na área comum do condomínio resultou em 76.335,25 kgCO<sub>2</sub>eq. Juntando este valor com as emissões dos imóveis o resultado encontrado é de 900.756,66 kgCO<sub>2</sub>eq.

#### 4.1.2 Emissões de decomposição da madeira

O carbono presente na madeira ao ser simplesmente descartado entra em decomposição e desse modo, libera para a atmosfera o carbono contido em seu interior resultando em emissões de CO<sub>2</sub>. Na Tabela 12 a seguir encontram-se os valores de dióxido de carbono de decomposição emitidos pelos materiais de madeira usados na construção.

Tabela 12 - Emissões de CO<sub>2</sub> por decomposição da madeira

| Tipo de madeira                          | Volume (m <sup>3</sup> ) | Dens. Básica (kg/m <sup>3</sup> ) | Massa (kg) | Emissão (kgCO <sub>2</sub> ) |
|--|--------------------------|-----------------------------------|------------|------------------------------|
| <b>Pinus</b>                             |                          |                                   |            |                              |
| Formas de um imóvel                      | 6,95                     | 400                               | 2.778      | 4.176,64                     |
| Emissões para 17 imóveis                 |                          |                                   |            | 71.002,87                    |
| Formas Condomínio                        | 15,68                    | 400                               | 6.270,5    | 9.427,51                     |
| Emissões para imóveis e condomínio       |                          |                                   |            | 80.430,38                    |
| <b>Total com 50% de reaproveitamento</b> |                          |                                   |            | <b>40.215,19</b>             |

Fonte: O autor (2018).

As emissões por decomposição vêm da utilização de formas de madeira para a concretagem das estruturas. Estas não podem ser utilizadas infinitamente, visto que a madeira se deforma depois de algum tempo ou são inutilizadas devido aos cortes necessários para caixarias. Portanto acabam descartadas e gerando emissões por decomposição. As formas aplicadas em um imóvel emitiram 4.176,64 kgCO<sub>2</sub>, sendo então 71.00,87 para os 17 imóveis, enquanto que para a área comum do condomínio as emissões foram de 9.427,51 kgCO<sub>2</sub>. Ao total as emissões por decomposição da madeira emitiram 80.430,38 kgCO<sub>2</sub>. No entanto as tábuas adquiridas tem um reaproveitamento estimado de 50%, segundo a construtora, no qual parte das tábuas é descartada devido aos vários cortes, e outra parte é reaproveitado para o próximo imóvel. Desse modo as emissões podem ser reduzidas para 40.215,19 kgCO<sub>2</sub>, refletindo assim o consumo real de madeira.

#### 4.1.3 Emissões da energia adquirida da rede

Os resultados obtidos para emissões de gases de efeito estufa de toda a energia elétrica da rede, utilizada durante a construção do condomínio, foram calculados utilizando os fatores de emissão fornecidos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), para cada mês e o resultado pode ser visualizado na Tabela 13 abaixo.

Tabela 13 - Emissões estimadas de energia adquirida da rede

|                   | Consumo kWh     | Emissões kgCO <sub>2</sub> eq |
|-------------------|-----------------|-------------------------------|
| Energia consumida | 3.295           | 317,00                        |
| Consumo projetado | 2.211,79        | 205,82                        |
| <b>Total</b>      | <b>5.506,79</b> | <b>522,82</b>                 |

Fonte: O autor (2018).

O total apresentado incluiu a energia já consumida por todas as operações na obra, a partir da ligação na rede, e uma estimativa do uso de energia a ser consumida até a conclusão da obra, com previsão de término em dezembro de 2018 segundo o engenheiro responsável da construtora. Este valor projetado foi calculado com base no fator de emissão médio do ano de 2017 e o consumo em kWh foi estimado através da média dos gastos do ano anterior. As emissões totais provenientes do sistema interligado nacional somaram 522,82 kgCO<sub>2</sub>eq.

#### 4.1.4 Emissões totais do condomínio residencial

A totalidade das emissões de gases de efeito estufa liberadas pela construção do condomínio está apresentada na Tabela 14 a seguir.

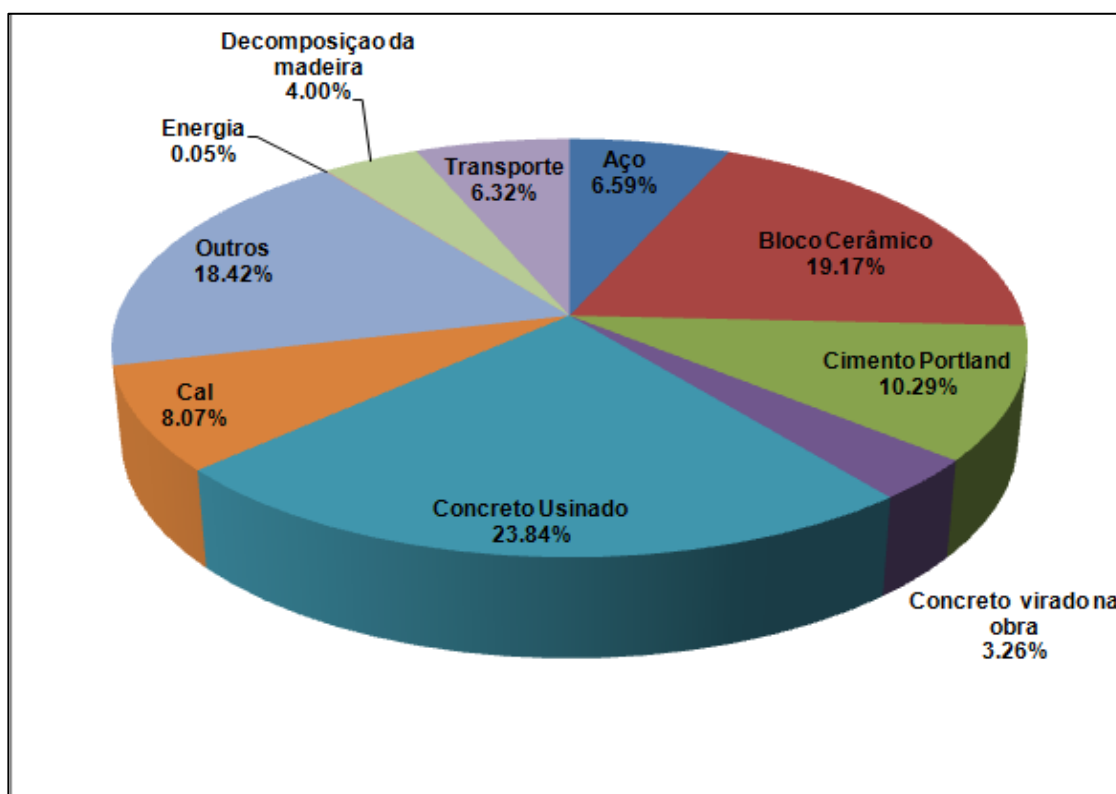
Tabela 14 - Emissões totais de GEE para o condomínio residencial

| <b>Identificação</b>                 | <b>Emissões<br/>(kgCO<sub>2</sub>eq)</b> |
|--------------------------------------|--|
| Aço                                  | 66.214,84                                |
| Bloco Cerâmico                       | 192.628,75                               |
| Cimento Portland                     | 103.425,90                               |
| Concreto virado na obra              | 32.723,60                                |
| Concreto Usinado                     | 239.576,96                               |
| Cal                                  | 81.090,72                                |
| Outros                               | 185.095,89                               |
| Emissões por uso de materiais        | 900.756,66                               |
| Emissões do uso de energia           | 522,82                                   |
| Emissões por decomposição da madeira | 40.215,19                                |
| Emissões de transporte               | 61.262,55                                |
| <b>Emissões totais</b>               | <b>1.002.757,22</b>                      |

Fonte: O autor (2018).

O valor total encontrado foi de 1.002.757,22 kgCO<sub>2</sub>eq para o condomínio, incluindo a soma de emissões de materiais utilizados, energia, decomposição da madeira e transporte de materiais. A contribuição destes itens nos gases de efeito estufa emitido pode ser visualizada na Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Contribuição dos materiais nas emissões de GEE na fase de construção



Fonte: O autor (2018).

A partir do gráfico é possível identificar as maiores fontes de emissão de toda a fase de construção do condomínio. Em primeiro está o concreto usinado, usado na concretagem de todos os imóveis, alcançando 24%. Cal e cimento portland são ingredientes das argamassas e juntos somam 18,36%. O aço presente nas armaduras alcançou 6,5%. A decomposição da madeira contribuiu com 4%, enquanto a energia não tem grande influência nas emissões totais do processo construtivo e não alcançou 1%. O restante dos materiais foi agrupado em “outros” por apresentarem menos de 5% de participação.

A quantidade de emissões geradas pelo empreendimento se deve à diversos fatores, como o método construtivo, tipos de materiais considerados, fatores de emissão utilizados e o projeto da edificação. Esses fatores podem variar bastante para cada caso. Se inventários diferentes forem comparados certamente serão encontradas divergências. De acordo com Flizikowski (2012), a comparação entre inventários e levantamentos de emissões é de grande dificuldade, uma vez que, cada pesquisa leva em consideração fatores diferentes. Para os procedimentos metodológicos alguns inventários trabalham com dados mais generalizados, contabilizando emissões apenas dos materiais de maior fator de emissão ou mais

consumidos na obra. Outros consideram um ano base para suas emissões, de modo que diversas obras em andamento contribuem nas emissões anuais da empresa. Pode ser feita também contabilização de emissões para apenas uma obra.

Porém, ainda que haja diferenças nos resultados alguns materiais continuam tendo maior participação percentual nas emissões, como concreto, cimento, cal, aço e blocos de vedação (cerâmicos ou de concreto), como visto em EVEN (2016), Freitas Jr, Parchen e Parchen (2010), Albano, Kirst e Diz (2011), Stachera Jr. e Casagrande Jr. (2008) e Flizikowski (2012).

#### 4.1.5 Armazenamento e recuperação de gases de efeito estufa pelos materiais

Alguns materiais de construção civil são capazes de atenuar as emissões geradas. Elementos de madeira incorporados na edificação são armazenadores de carbono, pois são de uso definitivo e não serão descartados e consequentemente decompostos. Elementos metálicos, como aço e alumínio, são passíveis de reciclagem, de modo que, o seu ciclo de vida se torna menos emissor de GEE, já que, como apresentado anteriormente, o processo de reciclagem é mais simples que o processo original de fabricação.

A madeira incorporada no estudo é composta pelo conjunto de portas e vigas e caibros para o telhado das residências. O armazenamento de CO<sub>2</sub> alcançado por tais itens está na Tabela 15.

Tabela 15 - Armazenamento de CO<sub>2</sub> nos elementos de madeira

| <b>Tipo de madeira</b>                    | <b>Massa (kg)</b> | <b>Teor de C</b> | <b>Armazenamento (kgCO<sub>2</sub>)</b> |
|---|-------------------|------------------|---|
| <b><i>Pinus</i></b>                       |                   |                  |   |
| Portas para um imóvel (8 conjuntos)       | 259,27            | 0,44             | 418,33                                  |
| Total de conjuntos de portas (17 imóveis) |                   |                  | 7.111,61                                |
| <b><i>Cambará</i></b>                     |                   |                  |   |
| Vigas e caibros para um imóvel            | 152,55            | 0,442            | 247,26                                  |
| Total de vigas e caibros (17 imóveis)     |                   |                  | 4.203,34                                |
| <b>Total armazenado na obra</b>           |                   |                  | <b>11.314,95</b>                        |

Fonte: O autor (2018).

Há que se considerar que o imóvel não é entregue com alguns itens como pisos laminados e rodapés e que se instalados pelo proprietário do imóvel podem contribuir com o armazenamento de carbono.



Ao reciclar materiais metálicos encurta-se a cadeia de produção eliminando as fases de extração e transformação das matérias-primas em insumos. Os benefícios da reciclagem do aço e alumínio podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 16 - Benefícios da reciclagem do aço e do alumínio para um imóvel

| Material                             |                         | Quantidade<br>(kg) | kgCO <sub>2</sub> eq/<br>kg (FE) | Emissões<br>(kgCO <sub>2</sub> eq) |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Aço                                  | Manufatura              | 2.224,32           | 1,6                              | 3.558,91                           |
|                                      | C/ reciclagem           | 2.224,32           | 1,2                              | 2.669,18                           |
|                                      | Benefício da reciclagem |                    | -0,4                             | -889,73                            |
| Alumínio                             | Manufatura              | 132,00             | 6,57                             | 867,24                             |
|                                      | C/ reciclagem           | 132,00             | 2,44                             | 322,08                             |
|                                      | Benefício da reciclagem |                    | -4,13                            | -545,16                            |
| <b>Benefício de reciclagem total</b> |                         |                    |                                  | <b>-1434,88</b>                    |

Fonte: O autor (2018).

O benefício da reciclagem encontrado para o aço foi de -0,4 kgCO<sub>2</sub>eq/kg enquanto que para o alumínio foi de -4,13 kgCO<sub>2</sub>eq/kg, sendo o benefício total para um imóvel de -1.434,88 kgCO<sub>2</sub>eq, e para as 17 unidades residenciais -24.392,96 kgCO<sub>2</sub>eq.

Aplicando-se para as construções da área comum do condomínio os mesmos fatores descritos na tabela acima para o aço, com uma quantidade de 2.715 kg, encontrou-se 4.344 kgCO<sub>2</sub>eq na manufatura e 3.258 kgCO<sub>2</sub>eq no processo com reciclagem incluída, gerando um benefício de -1.086 kgCO<sub>2</sub>eq. Para o alumínio consumido na área comum do condomínio, utilizando uma quantidade de 91,96 kg, obteve-se 604,17 kgCO<sub>2</sub>eq na manufatura e 224,38 kgCO<sub>2</sub>eq no processo com reciclagem incluída, gerando um benefício de -379,79 kgCO<sub>2</sub>eq. No total, a utilização do aço e alumínio reciclados indicou um benefício de -1.465,79 kgCO<sub>2</sub>eq na área comum do residencial. Ao total o condomínio pode-se beneficiar da reciclagem do aço e do alumínio ao evitar emissões na ordem de -25.858,9 kgCO<sub>2</sub>eq.

Com o armazenamento de carbono na madeira e a recuperação de aço e alumínio através da reciclagem, as emissões totais podem ser reduzidas conforme demonstrado na Tabela 17.

Tabela 17 - Emissões totais com recuperação de GEE

|                                       | <b>Emissões<br/>(kgCO<sub>2</sub>eq)</b> |
|---------------------------------------|--|
| Emissões do condomínio                | 1.002.757,22                             |
| CO <sub>2</sub> armazenado na Madeira | -11.314,95                               |
| Benefícios da reciclagem              | -25.858,89                               |
| <b>Total</b>                          | <b>965.583,38</b>                        |

Fonte: O autor (2018).

Ao subtrair as emissões evitadas pela reciclagem e armazenamento de carbono na madeira do total emitido pelo condomínio encontrou-se um valor de 1.002.757,22 kgCO<sub>2</sub>eq para 965.583,38 kgCO<sub>2</sub>eq, uma redução de 3,7%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho visou contabilizar as emissões de gases de efeito estufa emitidos pelos materiais de construção civil pelo empreendimento em estudo. As emissões totais para um condomínio residencial em série com 17 unidades foram de 1.002.757,22 kgCO<sub>2</sub>eq. Percebe-se a grande contribuição nas emissões das fases de alvenaria, estruturas e revestimentos de paredes, representados por concreto, cal, cimento, blocos cerâmicos e aço, que correspondem a 71% das emissões liberadas à atmosfera.

Quanto ao uso de madeira, as emissões por decomposição alcançaram 40.215,19 kgCO<sub>2</sub>, correspondendo a 4% do total, enquanto que a madeira de uso definitivo na obra armazenou 11.314,95 kgCO<sub>2</sub>.

Além do armazenamento de carbono em madeira, a reciclagem de elementos metálicos, como aço e alumínio, também contribuiu na mitigação de emissões. Os benefícios da reciclagem alcançaram 25.858,89 kgCO<sub>2</sub>eq. Juntando o carbono armazenado em madeira mais a reciclagem de metais os gases de efeito estufa emitidos pelo condomínio reduziram-se em 3,7%.

Por trabalhar apenas com materiais produzidos por terceiros ao realizar o presente levantamento percebeu-se a grande dificuldade em encontrar informações adequadas para estes de modo que, muitas vezes buscam-se dados de produtos similares de estudos e EPDs de outros países. O resultado encontrado poderia alcançar maior precisão caso as empresas e fornecedores desenvolvessem seus próprios fatores de emissão para seus produtos, fato que ainda é incomum no Brasil. Os estudos de avaliação de ciclo de vida e implantação da logística reversa certamente merecem mais atenção e incentivo no Brasil. Outro empecilho é a falta de transparência de empresas, que fazem estudos ambientais, mas não divulgam muitos detalhes destes.

A quantidade emitida de gases de efeito estufa passa por uma série de fatores como projeto, materiais utilizados e técnica construtiva. Após levantar as emissões da fase de obra podem-se identificar possibilidades de redução de emissões. Uma delas é através da técnica de construção utilizada. Segundo a construtora EVEN (2016) quando comparadas, o método de estrutura convencional é mais emissor e consome mais recursos do que se usado o método de alvenaria estrutural, porém este último impõe limitações na elaboração de projetos.

Pode-se também buscar fornecedores com maior responsabilidade ambiental. Muitas empresas já buscam se adequar às demandas por produtos mais sustentáveis e a partir daí passam a controlar suas operações quanto a resíduos, eficiência energética e insumos utilizados. Iniciativas como elaboração de Avaliação de Ciclo de Vida de produtos, inventários de emissão de gases de efeito estufa e sistemas de gestão ambiental auxiliam no controle da pegada de carbono de um dado produto. Essa situação já é encontrada para diversas empresas de grande porte, porém é raro para pequenas empresas. Outro fator na escolha de um fornecedor é a sua localização. Sabe-se que grande quantidade de emissões são oriundas da queima de combustíveis fósseis. Ao reduzir a distância do transporte de materiais reduzem-se também as emissões de gases de efeito estufa dos combustíveis. No caso do fornecimento de gesso a distância é fator importante, já que as reservas brasileiras de gipsita estão concentradas todas no nordeste.

Outra estratégia seria buscar a reciclagem e um uso mais eficiente dos materiais de construção evitando desperdícios. É importante lembrar que o setor da construção civil é responsável por cerca de 60% dos resíduos sólidos municipais. Resíduos estes que muitas vezes não são possíveis de serem reciclados, como os vidros planos. Alguns podem ser reaproveitados, como a calça, que é frequentemente utilizada como base de pavimentações. Já os metais, como visto anteriormente, tem grande potencial de reciclagem na indústria.

A utilização de cimentos com menor porcentagem de clínquer e mais aditivos também resulta em fatores de emissões menores conforme visto em CBCS (2014). Ao verificar o melhor tipo de cimento a ser aplicado na obra devem ser levadas em consideração as emissões de cada um. Esta escolha é de grande importância, uma vez que o cimento e o concreto são os maiores responsáveis pelas emissões. No caso do estudo apresentado o cimento mais utilizado é o CP-V Ari, com alto valor de emissões por m<sup>3</sup>. Se substituído pode contribuir na redução de emissões.

A inclusão de materiais capazes de armazenar carbono também é uma alternativa. Com uma maior utilização de produtos de madeira em substituição a outros diminuem-se as emissões de gases de efeito estufa. Freitas Jr. (2017) confirmou em sua tese o grande potencial de armazenamento de carbono em materiais de madeira. As possibilidades de produtos são várias e incluem painéis de madeira, portas, pisos laminados, blocos cimentícios com partículas de madeira, paredes divisórias e forros. No empreendimento estudado a madeira incorporada

inclui apenas portas, vigas e caibros. Uma utilização muito pequena vista a grande diversidade de materiais disponíveis. Para uma maior incorporação desses produtos, porém seriam necessárias mudanças logo na concepção do projeto arquitetônico, substituindo, por exemplo, paredes de alvenaria por divisórias de madeira.

Outra possibilidade é a busca pela construtora por certificações ambientais de edificações como LEED e adequação a normas como a ISO 14040 que determina a avaliação de ciclo de vida e pode ser aplicada a construções.

A implantação das medidas de redução de emissões discutidas envolve uma série de mudanças no produto final e não é um processo simples. Há fatores a serem levados em consideração no processo de tomada de decisões da construtora, como custos, opinião de clientes, competitividade no mercado e marketing. A importância das questões relacionadas às mudanças do clima deve ser incorporada nos valores da empresa.

Por fim, percebeu-se a necessidade de desenvolvimento de mais inventários de emissões de gases de efeito estufa na construção civil, que abranjam diferentes tipos de edificações e construtoras de pequeno à grande porte, visando à redução de emissões, desenvolvimento de novos meios de mitigação e difusão da importância das questões do clima.

## REFERÊNCIAS

ALBANO, L. T.; KIRST, M. G.; DIZ, P. F. Estimativa de geração de dióxido de carbono por uma obra de alvenaria estrutural em blocos de concreto. 2011. 77p. **Trabalho de conclusão de curso**. UFPR, Curitiba, 2011.

AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION. **Hot-dip galvanized steel is green: Life-cycle assessment**. 2015. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Boletim técnico - guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo - SP, dezembro de 2002. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 14081:2004. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Requisitos**. 2º edição. ABNT, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 14064-1:2007. **Gases de efeito estufa – Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 14064-2:2007. **Gases de efeito estufa – Parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 14064-3:2007. **Gases de efeito estufa – Parte 3: Especificação e orientação para a validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 14040:2009 - **Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15575:2013. **Edificações Habitacionais — Desempenho**. São Paulo - SP, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 12655:2015. **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 14025:2015 - **Rótulos e declarações ambientais** - Declarações ambientais de Tipo III - Princípios e procedimentos

ARGE. **Environmental Product Declaration - EPD**. Door and Windows Handles. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V. EPD-ARG-20160192-IBG1-EN. Berlin, Germany, 2016. 9p.

BEZERRA, M. S. **Perfil da gipsita**. Ministério das Minas e Energia (MME), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM), 2009. 30p.

BRASKEM. **Pegada de carbono:** Carbon footprint. 2013. 17p. Disponível em: <[www.braskem.com.br/download/Principal/21016](http://www.braskem.com.br/download/Principal/21016)>. Acesso em: 31 dez. 2017.

BRASIL. Decreto n. 7.390, de 09 de Dezembro de 2010. **Regulamenta os arts. 6º, 11º e 12º da Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas – PNMC, e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

BRASIL. Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima-PNMC e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil.** 2. ed. Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). 2016. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016b. 336p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC).** 2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2011/11/painel-intergovernamental-sobre-mudancas-climaticas-ipcc>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico: Setor Transformação Não Metálicos/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.** 2006 - Brasília: SGM, 2017. 89p.

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução Do Objetivo Da Convenção-Quadro Das Nações Unidas Sobre Mudança Do Clima.** 2016a. 10p.

CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DA FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - GVces. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** 2ª Ed. São Paulo-SP Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP 2010.

COELHO, J. M. **Perfil da Cerâmica de Revestimento.** Ministério das Minas e Energia (MME), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM), 2009a. 44p.

COELHO, J. M. **Perfil de Louças Sanitárias e de Mesa.** Ministério das Minas e Energia (MME), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM), 2009b. 53p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo.** 2ª Edição. São Paulo - SP, 2011. 95 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Guia Técnico Ambiental de Tintas e Vernizes – Série P+L**. 2006. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/downloads/tintas.pdf>> Acesso em: 16 jan. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Inventário de Emissões das Fontes Estacionárias do Estado de São Paulo -Manual de Preenchimento**. São Paulo, 2009.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Vidro**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>> Acesso em: 15 jan. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Transporte rodoviário: desempenho do setor, infraestrutura e investimentos**. / Confederação Nacional de Transportes. – Brasília: CNT, 2017. 70p.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - CBCS. **Posicionamento CBSB: Materiais, componentes e a Construção Sustentável**. Comitê Temático de Materiais. 2009. São Paulo.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - CBCS. **Projeto Avaliação de Ciclo de Vida Modular de Blocos e Pisos de Concreto**. Novembro de 2014. São Paulo – SP, 2014. 93 p.

CONVENÇÃO DO CLIMA. **Convenção sobre a Mudança do Clima. Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima**. Unidade de Informações sobre Mudanças do Clima (PNUMA) (IUC), secretariado Permanente da Convenção. Ministério da Ciência e Tecnologia com apoio do Ministério das Relações exteriores da República Federativa do Brasil. 1995.

COSTA, B. L. C. Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> geradas na produção de materiais utilizados na construção civil. **Dissertação de Mestrado de Pós-graduação em Engenharia Civil** - COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2012. 190p.

ECZACIBASI BUILDING PRODUCTS. **Environmental Product Declaration - EPD**. Brass Bathroom Mixers. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V. EPD-ECZ-20130187-IAC1-EN. Berlin, Germany, 2013. 10p.

EN 15804:2014-07. Sustainability of construction works — Environmental Product Declarations — Core rules for the product category of construction products

EUROPROFIL AB. **Environmental Product Declaration - EPD**. Light gauge steel profiles and assembly products. The International EPD System. S-P-00537. Stockholm, Sweden, v05, 2015. 12p.

EVEN. **Relatório de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) Ano-Base 2015**. Even Construtora e Incorporadora S/A. 2016. Disponível em: <<http://sustentavel.even.com.br/wp-content/uploads/2016/09/Relatorio-Emissoes-2016.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

EVEN. **Relatório Anual e de Sustentabilidade – RAS 2017 Ano-Base 2016**. Even Construtora e Incorporadora S/A. 2017. Disponível em: <[https://www.even.com.br/webtemp/download?arquivo=RAS\\_EVEN2017\\_GRI\\_4.pdf](https://www.even.com.br/webtemp/download?arquivo=RAS_EVEN2017_GRI_4.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2017.



FEITOSA, VITOR. **A Contribuição da Norma ISO 14064 para a Elaboração de Projetos Geradores de Crédito de Carbono**. SC-09 – Subcomitê de Mudanças Climáticas da ABNT. Vitória, 2008.

FLIZIKOWSKI, L.C. Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FREITAS JR, J. A. Materiais de construção com madeira para mitigação de gases de efeito estufa na execução de edificações. 2017. 183p. **Tese de doutorado** – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

FREITAS JR, J. A.; PARCHEN, C. F. A.; PARCHEN, M. F. R. Importância do concreto na geração de CO<sub>2</sub> em um caso de obra de um edifício. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, **IBRACON**, São Paulo – SP, 2010. 16 p.

GIL, A. C. **Método e técnicas de pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **II Inventário de Gases Efeito Estufa do Setor Mineral**. Ano base 2011. Brasília, 2014. 112p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria nº100, de 07 de março de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

INTERNACIONAL ALUMINIUM INSTITUTE - IAI. **Global Aluminium Recycling: A Cornerstone of Sustainable Development** / International Aluminium Institut. Londres, 2009. 36p. Disponível em: <[http://www.world-aluminium.org/media/filer\\_public/2013/01/15/fl0000181.pdf](http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/01/15/fl0000181.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ISO. **New ISO 14064 standards provide tools for assessing and supporting greenhouse gas reduction and emissions trading**. 2006. Disponível em: <<https://www.iso.org/news/2006/03/ref994.html>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

LIMA, J. A. R. Avaliação das consequências produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas. Tese de Doutorado, **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo - SP, 2010. 151 p.

MAHAPHANT FIBRE-CEMENT PUBLIC COMPANY. **EPD - Environmental Product Declaration**. Limited Mahaphant fibre cement roof covering products. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V. EPD-MET-20140068-IAC1-EN. Berlin, Germany, 2014. 12p.

MONZONI NETO, M. P.; OSORIO, G. I. S.; GROSS, A.; KISS, B. C. K. ; LIMA, G. P.; BREVIGLIERI, G. V.; BARTOLOMEI, M.; CANELAS, P.; UDAETA, M. E. M.; GEROSA, T. M. **Nota Técnica Alumínio. Caderno 5.** Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Brasília: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial ABDI, 2012

MOURA, V.P. G; SANTIAGO, J. Densidade básica da madeira de espécies de Pinus tropicais determinada através de métodos não destrutivos. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1991. 14p.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. **Understanding climate change atmospheric carbon dioxide.** Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

OLIVEIRA, E. O.; NAKAJIMA, N. Y.; CHANG, M.; HALISKI, M.; Determinação da quantidade de madeira carbono e renda da plantação florestal. **Embrapa Florestas**, Colombo - PR, 2011. 39 p.

PE INTERNATIONAL. **Life Cycle Assessment of Rough-sawn Kiln-dried Hardwood Lumber.** PE International AG., Leinfelden-Echterdingen, Germany, July 2012. 89 p.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** (Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios, v.1). Brasília: CEF, 2005. v. 1. 196 p.

POLISAN HOME COSMETICS. **Environmental Product Declaration - EPD.** Natura Ambians Interior Paints. The International EPD System. S-P-00739. Stockholm, Sweden, 2015a.

POLISAN HOME COSMETICS. **Environmental Product Declaration - EPD.** Exelans Macro Exterior Paints. The International EPD. System. S-P-00740. Stockholm, Sweden, 2015b.

PROTOCOLO DE QUIOTO. **Protocolo de Quioto. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações exteriores da República Federativa do Brasil. 1997. 29p.

REGISTRO PÚBLICO DE EMISSÕES. **Emissões históricas do programa brasileiro GHG protocol.** 2017. Disponível em: <<http://registropublicodeemissoes.com.br/estatisticas/emissoes-historicas> />. Acesso em: 17 nov. 2017a.

REGISTRO PÚBLICO DE EMISSÕES. **Inventários por setor de atividade.** 2017. Disponível em: <<http://registropublicodeemissoes.com.br/estatisticas/inventarios-por-setor>>. Acesso em: 17 nov. 2017b.

REGISTRO PÚBLICO DE EMISSÕES. **Membros do programa brasileiro GHG protocol.** 2017. Disponível em: <<http://registropublicodeemissoes.com.br/estatisticas/membros-do-programa>>. Acesso em: 17 nov. 2017c.

RODOFO, A. Jr.; NUNES, L. R. ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. Braskem. 2 ed. São Paulo: PRO Editores, 2006. 448p.

RUUSKA, A. Carbon footprint for building products. ECO<sub>2</sub> data for materials and products with the focus on wooden building products. VTT Technology 115. **VTT Technical Research Centre of Finland**. Espoo, Finland, 2013. 126 p.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Product Environmental Profile**: Miluz SSO 2P+T 10A Screw white. PEP ecopassport program. ENVPEP130309EN. Rueil-Malmaison, France, 2013.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Product Environmental Profile**: EaSY9 MCB. PEP ecopassport program. SCHN-2015-113. Rueil-Malmaison, France, 2015.

SILVA, J. O. **Perfil da Cal**. Ministério das Minas e Energia (MME), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM), 2009. 39p.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO – SINDUSCON-SP. **Guia Metodológico para inventários de gases de efeito estufa na construção civil**. São Paulo. 74p. 2013. Disponível em: <[http://sustentavel.even.com.br/wp-content/uploads/2014/07/Guia-Metodologico\\_GEE\\_Sinduscon.pdf](http://sustentavel.even.com.br/wp-content/uploads/2014/07/Guia-Metodologico_GEE_Sinduscon.pdf)>. Acesso em 17 nov. 2017.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.4, n.2, p.83-94, 2004.

STACHERA JR, T. Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008. 13 p.

STACHERA JR, T.; CASAGRANDE JR, E.F. Desenvolvimento e a aceleração do crescimento de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: cenário de um projeto do PAC no Paraná. In: TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES NOCMAT, 2008 Cali, Colombia. Anais... Colômbia, 2008.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residências brasileiras**. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TECNOBUILD CONSTRUÇÕES CIVIS LTDA. **Tecnobuild Construções Civis**. Curitiba, 2017. Disponível em: < <https://www.tecnobuild.com.br/>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, n° 109, p. 9-26, 2005.

THE ALUMINUM ASSOCIATION. **Environmental Product Declaration - EPD**. Extruded Aluminum. UL Environment. 4786092064.102.1. United States, 2014.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE

- UNFCCC. **NDC Registry**: Brazil. 2016b. Disponível em:  
<<http://www4.unfccc.int/ndcregistry/pages/Party.aspx?party=BRA>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE

- UNFCCC. **Paris agreement**. 2015. Disponível em:  
<[http://unfccc.int/files/home/application/pdf/paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/home/application/pdf/paris_agreement.pdf)>. Acesso em: 6 dez. 2017.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE

- UNFCCC. **Paris agreement**: Entry into force. 2016a. Disponível em:  
<<https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2016/CN.735.2016-Eng.pdf>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

UNITES STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Basic information of air emissions factors and quantification**. 2016. Disponível em:

<<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification#About%20Emissions%20Factors>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

WESTPHAL, F. S. **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações**. 1. ed. São Paulo: Abividro, 2016. v. 1. 182p.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. **Cement technology roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050**. Cement Sustainability Initiative. Paris, France, 2009.

WORLD STEEL ASSOCIATION – WSA. **Methodology report** - Life cycle inventory study for steel products. Brussels, Belgium, 2011. 95 p.

YIN, Roberto K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2ª Ed. Porto Alegre. Editora: Bookmam. 2001.

ZENID, Geraldo José. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2. ed. São Paulo : IPT, 2009. 99p.

## ANEXO A – MEMORIAL DESCRITIVO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento possui 17 unidades residenciais dispostas num terreno de área total de 2131,15 m².

Para todas as unidades:

### **Estrutural**

Fundações: De concreto armado, do tipo estaca cravada, com blocos de coroamento e vigas baldrame determinadas pelo cálculo estrutural e sondagem do terreno.

Estrutura: De concreto armado, composta por vigas, pilares e lajes pré-moldadas em concreto armado formando um sistema estrutural totalmente interligado e sólido, determinado pelo cálculo estrutural.

Alvenaria: De tijolos cerâmicos de seis furos tamanhos padrão, assentados com argamassa mista de areia, cal e cimento.

### **Revestimentos**

Piso: Composto por concreto, camada de contrapiso de argamassa de cimento regularizada para receber cerâmicas, carpete e ou madeira laminada.

Paredes Externas: com revestimento de chapisco, emboço, reboco e aplicação de textura projetada.

Paredes Internas revestidas com cerâmicas: chapisco, emboço e argamassa de assentamento de cerâmicas.

Paredes Internas: chapisco, emboço, reboco (cal fino), massa corrida PVA, selador e pintura definitiva.

Teto: chapisco, emboço, reboco (cal fino), massa corrida de PVA, selador e pintura definitiva.

Forros: Gesso cartonado, lixado e pintura de cor branca.

### **Cobertura**

Estruturada em madeira de cambará, telhas de fibrocimento e calhas e rufos.

### **Pinturas**

Interna: cor branco neve, marca Suvinil Látex.

Fachada frontal: em textura tipo projetada.

Fachada dos fundos: em textura tipo projetada.

Muros: textura.

### **Instalações**

Instalações elétricas: com entrada bifásica de 50 ampéres e sistema dividido por circuito com disjuntores e carga dividida nas duas fases com fiações antichama de 1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 6.0 e 10.0 mm<sup>2</sup>, todos normatizados pela ABNT, tomadas e interruptores da marca Schneider ou similares, disjuntores marca General Electric ou similares, sendo todos de 1ª linha, tubulações de 2,7 mm em PVC e caixas de passagem 2x4 distribuídas nos cômodos do imóvel.

Instalações telefônicas: Com tubulações de 2,7 mm em PVC com pontos na sala de estar, copa/cozinha e quartos, com fiações do tipo cabo com 2 pares e tomadas 2x4, com fiação de entrada para uma linha externa.

Instalações para TV: com tubulações de 2,7 mm em PVC com pontos distribuídos nos quartos e salas, com ponto para ligação externa.

#### Instalações Hidráulicas:

Instalações de água fria do tipo descendente por gravidade com tubulações em PVC tipo A marca Tigre ou Amanco de 25, 32 mm, com registros da marca Deca, Celite, Roca e Incepa.

Esgoto sanitário e águas pluviais em tubulações de PVC rígido da marca Tigre ou Amanco de dimensões 40, 50, 75, 100 mm, composto por tubos de queda, ligações e tubos de ventilação com o sistema funcionando por gravidade, com pontos para interligação a rede pública de esgoto e águas pluviais.

Instalações de água quente composta por tubulações Tigre Aquatherm, interligando o banheiro da suíte, o banheiro social, a cozinha e a lavanderia, com funcionamento a gás GLP, com ponto para instalação de um aquecedor do tipo de passagem e pressurizador que deverá ser adquirido e instalado pelo comprador do imóvel, existindo pontos para ligação de chuveiro elétrico.

Instalação de gás: Ponto para central de GLP para dois cilindros de 45 kg, a instalação é composta por tubos de cobre de dimensões 15 mm, interligando os pontos do aquecedor e do fogão na cozinha (os cilindros e as válvulas de gás deverão ser adquiridas e instaladas por conta do comprador do imóvel).

**Aberturas**

Esquadrias: em vidro temperado na cor fumê claro, com acabamento em pintura epóxi na cor preto.

Portas internas: nas salas, quartos, cozinha, banheiros, lavanderia e escada, portas chapeadas e caixilhos em madeira na cor branca.

Porta externa: porta chapeada na cor madeira imbuia.

Fechaduras: das portas externas e internas da marca Imab com acabamento cromado.

**Revestimentos**

Pisos da sala do térreo, lavabo e cozinha: em porcelanato polido.

Piso da escada com patamar em granito.

Piso e parede dos Banheiros: em cerâmica de dimensões variadas de marca Incepa, Portobelo, Portinare ou Cecrisa.

Áreas externas com vaga de garagem e churrasqueira em cerâmica Cecrisa, conforme projeto aprovado.

**Louças Sanitárias**

Lavabo, banheiro social, banheiro da suíte com vasos sanitários modelo Tema e lavatórios das marcas Incepa, Roca ou Deca.

Tanque de louça de 25 litros das marcas Deca ou Incepa.

Tampos em mármore e granitos no banheiro da suíte, no banheiro social e no lavabo.

**Outros itens**

Churrasqueira nos fundos.

Rua do condomínio em paver.

Os acessórios dos banheiros serão por conta do comprador do imóvel.

**Proteções**

Muros: Com altura de 2,0 metros de bloco de concreto, com emboço, reboco (cal fino) e pintura tipo textura.

Figura A6 - Vista frontal do residencial





Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).

Figura A7 - Vista aérea do residencial



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).

Figura A8 - Vista interna das residências



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).

Figura A9 - Vista da unidade 1



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).

Figura A10 - Planta do térreo - unidade 1



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).

Figura A11 - Planta do ático - unidade 1



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).



Figura A12 - Planta do primeiro andar - unidade 1



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).

Figura A13 - Planta do térreo - unidade interna



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).

Figura A14 - Planta do primeiro andar - unidade interna



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).

Figura A15 - Planta do ático - unidade interna



Fonte: Tecnobuild Construções Civas (2017).